

ISSN 2782-3237

Экологический мониторинг и моделирование экосистем

Environmental Monitoring
and Ecosystem Modelling

Том XXXVI № 1-2

2025



Москва 2025

Federal State Budgetary Institution
«Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology»
(FSBI «IGCE»)

**ENVIRONMENTAL MONITORING
AND ECOSYSTEM MODELLING**

Volume XXXVI

№ 1-2

Moscow 2025

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт глобального климата и экологии
имени академика Ю.А.Израэля»
(ФГБУ «ИГКЭ»)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ**

Том XXXVI № 1-2 2025 год

Научный редактор: Махрова Т.Г.

Выпускающий редактор: В.А. Гинзбург

Технические редакторы:

И.М. Брускина,

Л.В. Кудрявцева

Верстка: Л.А. Прохорова

Фото на обложке:

О.В. Максимовой

Свидетельство о регистрации СМИ: от 15.03.2021 г.
Эл № ФС 77-80601

Москва 2025

Федеральное государственное бюджетное учреждение
"Институт глобального климата и экологии
имени академика Ю.А.Изразля"
(ФГБУ "ИГКЭ")

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ

Том XXXVI

№ 1-2

Москва 2025

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ

Том XXXVI № 1-2 2025 г.

Научный журнал, публикующий статьи о методах и результатах мониторинга загрязнения и состояния окружающей среды, по сопряженным вопросам моделирования. Публикуются также статьи о системах мониторинга и их функционировании, информационные материалы. Издание «Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем» выпускается с 1978 г. года. Для экологов, климатологов и специалистов в области охраны окружающей среды.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: Романовская А.А. (главный редактор), Брынцев В.А., Гинзбург В.А., Глазунов Ю.Б., Громов С.А., Есеркепова И.Б., Козулин А.В., Кухта А.Е. (зам. главного редактора), Лысенко А.В., Минин А.А., Мокиевский В.О., Назырова Р.И., Ольчев А.В., Папич Л., Разумовский Л.В., Махрова Т.Г. (научный редактор), Терехович Т.И., Тихонова И.О., Тишков А.А., Трунов А.А. (ответственный секретарь), Шварц Е.А., Шуйская Е.А.

Все статьи рецензируются.

Адрес для первичного представления материалов для публикации: РФ, 107258 Москва, ул. Глебовская, д. 20Б, ИГКЭ, Трунову А.А.; e-mail: pemme@inbox.ru. Правила оформления рукописей и их представления для публикации – см. <http://www.igce.ru/>.

© Оформление издания: ФГБУ «ИГКЭ», 2023

ENVIRONMENTAL MONITORING AND ECOSYSTEM MODELLING

Volume XXXVI № 1-2 2025

A scientific journal publishing papers on methodologies and results of monitoring of pollution and state of the environment, as well as on associated modelling issues. Papers on monitoring systems and their functioning, and information materials are also invited. Published since 1978. The journal may be of interest for ecologists, climate scientists and experts in protection of the environment.

EDITORIAL BOARD: Romanovskaya A.A. (editor-in-chief), Bryntsev V.A., Ginzburg V.A., Glazunov Yu.B., Gromov S.A., Yesserkepova I.B., Kozulin A.V., Koukhta A.E. (deputy editor-in-chief), Lysenko A.V., Minin A.A., Mokievsky V.O., Nazyrova R.I., Olchev A.V., Papic L., Razumovsky L.V., Makhrova T.G. (science editor), Terekhovitch T.I., Tikhonova I.O., Tishkov A.A., Trunov A.A. (assistant editor), Shvarts E.A., Shouyskaya E.A.

All papers are subject for peer-reviewing.

Primary submission of manuscripts: Trunov A.A., IGCE, Glebovskaya str, 20B, 107258 Moscow, Russian Federation; e-mail: pemme@inbox.ru. Rules for the preparation and submission of manuscripts are available at <http://www.igce.ru/>.

© Design: FSBI “IGCE” 2023

СОДЕРЖАНИЕ

СОБЫТИЯ И ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Аркадий Александрович Тишков: к 75-летию со дня рождения.....	5
Светлая память: Михаил Юрьевич Бардин.....	8

ИССЛЕДОВАНИЯ

Лежнев Д.В., Коротков С.А.

Неморализация сосновых лесов города Москвы в условиях изменения климата.....	10
---	----

Забелина А.В., Агаханянц П.Ф., Сергиенко О.И., Богданов Н.С.

Газогеохимическое исследование выбросов свалочного газа в верхних слоях полигона ТКО.....	32
--	----

Максимова О.В.

Сравнение временных рядов в прикладных исследованиях: близость, синхронность и корреляция.....	46
---	----

Кухта А.Е., Махрова Т.Г., Шерстнева Е.А.

Аборигенная растительность на стационаре Международной совместной программы комплексного мониторинга на территории заказника регионального значения «Полярный круг».....	65
--	----

Бабаева Э.В., Федорова М.А., Губайдулина С.В., Фролова В.С., Тригуб А.Г., Медянкина М.В.

Влияние стронция на половозрелую молодь <i>Danio rerio</i>	79
--	----

Чемарина О.В., Родин С.А., Межибовский А.М.

Редкие виды деревьев дендрологического парка ВНИИЛМ города Пушкино Московской области.....	89
---	----

Росляков П.В., Кондратьева О.Е., Тихонова И.О., Бурвикова Ю.Н.

К вопросу об объективной оценке показателей снижения выбросов загрязняющих веществ в рамках выполнения федерального проекта «Чистый воздух».....	107
--	-----

ОБЗОРЫ

Парамонов С.Г., Иванов В.А.

Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по данным сети станций комплексного фоновых мониторинга в 2023 году.....	126
--	-----

СООБЩЕНИЯ

Вертянкина В.Ю., Трунов А.А.

Очерк о почвах Беломорской биостанции МГУ им. Н.А. Перцова.....	
---	--

CONTENTS

EVENTS AND COMMEMORATIVE DATES

Georgiy Sergeevich Golitsyn: to the 90th birthday.....	5
In memoriam of Mikhail Bardin.....	8

STUDIES

Lezhnev D.V., Korotkov S.A.

Nemoralization of Moscow's Scots pine forests in the context of climate change.....	10
--	----

Zabelina A.V., Agahanyants P.F., Sergienko O.I., Bogdanov N.S.

Gas-geochemical survey of landfill gas emissions in the upper layers of the MSW landfill.....	32
--	----

Maksimova O.V.

Comparison of time series in applied research: proximity, synchronism and correlation.....	46
---	----

Koukhta A.E., Makhrova T.G., Sherstneva E.A.

Native vegetation on the International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM) site on the Polar Circle Regional Reserve Territory.....	65
--	----

Babaeva E.V., Fedorova M.A., Gubaidullina S.V., Frolova V.S., Tregub A.G., Medyankina M.V.

The effect of strontium on mature juveniles <i>Danio rerio</i>	79
--	----

Chemarina O.V., Rodin S.A., Mezhibovsky A.M.

Rare tree species of the VNIILM dendrological park in the town of Pushkino, Moscow region.....	89
---	----

Roslyakov P.V., Kondratyeva O.E., Tikhonova I.O., Burvikova U.N.

On the issue of an objective assessment of pollutant emissions reduction within the framework of the implementation of the "Clean Air" federal project.....	107
---	-----

REVIEWS

Paramonov S.G., Ivanov V.A.

The content of air pollutants according to the integrated background monitoring stations network in 2023.....	126
--	-----

MESSAGES

Vertyankina V.Yu., Trunov A.A.

Essay about of Soils of the N.A. Pertsov White Sea Biostation the Moscow State University.....	138
---	-----

СОБЫТИЯ И ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Аркадий Александрович Тишков: к 75-летию со дня рождения



В марте 2025 года исполнилось 75 лет члену редколлегии нашего журнала Аркадию Александровичу Тишкову, ведущему специалисту в области физической географии и биогеографии, экологии, географии биоразнообразия, экономики сохранения живой природы и заповедного дела, главному научному сотруднику, заведующему лабораторией биогеографии Института географии РАН, главному редактору «Известий РАН. Серия географическая», научному редактору линейки школьных учебников по географии издательства «Русское слово», члену ряда научных советов РАН, Президиума Ученого совета и Совета старейшин Русского географического общества (РГО), сопредседателю его Постоянной природоохранительной комиссии и заместителю председателя Московского отделения, Председателю Рабочей группы «Международные научные инициативы в Российской Арктике» Международного арктического научного комитета, члену научно-технических и экспертных советов и комиссий Росприроднадзора, Минприроды, Минэкономразвития и Миндальгостокразвития и др.

А.А. Тишков родился 31 марта 1950 года в Москве. С начала 1960-х годов он занимался в юннатском кружке при Московском обществе испытателей природы (МОИП), а в 1965 г. был принят профессором Д.Л. Армандом на работу в ботанический отряд Курского стационара Института географии РАН лаборантом. Затем учился на кафедре геоботаники Биолого-почвенного факультета МГУ. В период учебы работал лаборантом в Комплексной восточной экспедиции Географического факультета МГУ (1971-1973 гг.), в экспедициях кафедры общего почвоведения Биолого-почвенного факультета (1970-1972 гг.), участвовал в исследованиях по рекреационной географии Дружины по охране природы МГУ и Института географии (лето 1968-1969 гг.), вел биологический кружок в Городском дворце пионеров (1970-1971). После окончания МГУ получил распределение в Институт географии РАН, в котором с 1973 г. прошел путь от старшего лаборанта до заместителя директора по науке, защитил кандидатскую (1979) и докторскую (1994) диссертации; 20 лет заведует лабораторией биогеографии, прошел с экспедициями всю Россию (Арктика, Европейский Север, Урал, Сибирь, Кавказ, Русская равнина), Украину, Узбекистан, Китай (Тибет) и др.

Аркадий Александрович занимается преподаванием и популяризацией науки: он читал лекции в МГУ им. М. В. Ломоносова и других ВУЗах, подготовил 25 кандидатов наук.

А.А. Тишков стал автором и соавтором около 750 научных работ, в том числе книг «Сохранение биоразнообразия гор России», «Биосферные функции природных экосистем России» и множества других монографий, а также мемуаров «Люди нашего племени. Очерки об ученых – учителях, друзьях, коллегах». А.А. Тишков принял участие в составлении мировых сводок по полярным, таежным и степным ландшафтам, а также по физической географии Северной Евразии. Аркадий Александрович – редактор более 30 книг, составитель учебных пособий, карт, научных биографий и статей в энциклопедиях.

А.А. Тишков – автор и соавтор фундаментальных обобщений по теории динамики и продуктивности зональных ландшафтов, а также оценке их биосферных функций, лидер научной школы по современной биогеографии России в Институте географии РАН. Среди направлений географических исследований, в развитие которых он внес существенный вклад, можно выделить:

- углубление и актуализацию фундаментальных биогеографических исследований, описание новой феноменологии биогеографии России;
 - разработку новой схемы биогеографического районирования России, учитывающей современные изменения биоты и ландшафтов;
 - исследования пространственных закономерностей природной и антропогенной динамики биоты;
 - выявление географических закономерностей и картографирование параметров первичной продуктивности ландшафтов России;
 - сравнительно-географическое сопоставление и выявление зональных особенностей средообразующей роли биоты;
 - развитие представлений о смене парадигм в современной биогеографии и в ее связях с практикой.
-

Заслуги ученого отмечены премиями и наградами: почетной грамотой РАН (1999 год), золотой медалью Русского географического общества им. И.П. Бородина (2012 год), орденом В.И. Вернадского (2018 год), премией РАН им. академика А.А. Григорьева (2021 год), почетной грамотой президента Российской Федерации (2024 год) и другими. Юбиляр удостоен званий заслуженного деятеля науки РФ (2007 год), почетного работника охраны природы (2003 год).

Аркадий Александрович, редакционная коллегия ЭММЭ и коллектив ИГКЭ поздравляют Вас со славным юбилеем! Мы желаем Вам быть таким же увлеченным, энергичным, ярким лидером. Пусть Ваши обаяние и талант служат науке, а молодёжь берёт с Вас пример.

Светлая память: Михаил Юрьевич Бардин



18 мая 2025 года ушел из жизни известный российский климатолог, заведующий Отделом мониторинга и вероятностного прогноза климата ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «ИГКЭ») Михаил Юрьевич Бардин.

Михаил Юрьевич окончил Московский государственный педагогический институт им. В.И. Ленина в 1978 году по специальности «Математика». Почти год отработав учителем математики в школе, в 1979 году принят на должность инженера в ВНПО «Союзгазавтоматика».

В 1980 зачислен инженером в Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР, где проработал 10 лет. В 1990 году был принят на должность старшего научного сотрудника в Лабораторию мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета и АН СССР (ЛИАМ), на базе которой впоследствии (в 1991 году) был создан Институт глобального климата и

экологии Росгидромета и РАН (в настоящее время – ФБГУ «ИГКЭ»). В 1994 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Более десяти лет в ФБГУ «ИГКЭ» Михаил Юрьевич возглавлял Отдел мониторинга и вероятностного прогноза климата.

Таким образом, практически вся трудовая деятельность М.Ю. Бардина связана с системой Росгидромета (ранее – Госкомгидромета) и посвящена метеорологии и климатологии.

В круг научных интересов Михаила Юрьевича входило исследование крупномасштабных циркуляционных режимов и их влияния на климатические экстремумы в условиях меняющегося климата. Авторству М.Ю. Бардина принадлежит метод идентификации и анализа барических систем (циклонов, антициклонов и блокингов).

Будучи высококвалифицированным климатологом, М.Ю. Бардин успешно направлял деятельность своего отдела. Он являлся ведущим разработчиком и организатором действующей системы мониторинга климата в Российской Федерации, а также координатором ВМО по национальным видам климатического мониторинга. Михаил Юрьевич был бессменным ответственным исполнителем ежегодного Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации (официальное издание Росгидромета), разработчиком вклада России в ежегодное Заявление ВМО о состоянии глобального климата в истекшем году, а также ведущим автором Третьего оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации.

Заслуги М.Ю. Бардина в развитии климатологии высоко оценены научным сообществом. За годы работы он был награжден рядом почетных грамот Росгидромета и ИГКЭ, нагрудным знаком «Почетный работник гидрометслужбы России», Почетной грамотой Минприроды Республики Беларусь.

Наравне с научными и организаторскими заслугами нельзя было не отметить человеческое обаяние Михаила Юрьевича, его глубокую интеллигентность, порядочность и чувство юмора. Уход его – тяжелая потеря для всех нас, тех, кто знал его и имел счастье работать вместе и учиться у него.

Редакционная коллегия ЭММЭ выражает соболезнование семье Михаила Юрьевича. Светлая ему память!

**Неморализация сосновых лесов города Москвы
в условиях изменения климата**

Д.В. Лежнев^{1,2,3)}, С.А. Коротков^{2,3)}*

¹⁾ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

²⁾ Институт лесоведения РАН,
РФ, 143030, Московская обл., Одинцовский г.о., с. Успенское, ул. Советская, д. 21;

³⁾ МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,
РФ, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

*Адрес для переписки: lezhnev.daniil@yandex.ru

Реферат. В статье рассматривается вертикальная и горизонтальная структура сосновых лесов в урбанизированной среде. Лесные экосистемы Московской городской агломерации подвержены комплексному воздействию внешних факторов, в том числе: изменению климата и возрастающей урбанизации. Объектами исследования стали 15 постоянных пробных площадей на территории Серебряноборского опытного лесничества, Лесной опытной дачи и национального парка «Лосиный остров». Подобраны насаждения различного возраста: от приспевающих до перестойных. Целью исследования стала оценка протекающей неморализации в сосняках сложной группы типов леса. В исследовании выделялись фитоценотические ярусы древостоя. Ко второму ярусу относили деревья, высота которых составляла менее 80% от средней высоты соснового элемента леса. Отмечается начало формирования широколиственного второго яруса начиная с III–IV классов возраста сосны обыкновенной. На всех объектах исследования во втором ярусе встречается липа мелколистная. Исследуемые сосновые древостои Московского региона вне зависимости от класса возраста имеют ярко выраженную двухвершинную кривую распределения деревьев по ступеням толщины, что характерно для смешанных и сложных по форме насаждений. Это происходит за счет внедрения под полог широколиственных пород. С увеличением возраста происходит закономерный отпад сосны обыкновенной и образуются «окна». Клен остролистный встречается на всех рассматриваемых пробных площадях в Московском регионе. Наибольшее количество подроста может достигать около 16700 шт./га. Также значительную часть в подросте на исследуемых объектах занимает липа мелколистная. Широколиственные породы, успешно произрастающие под пологом соснового древостоя, при развитии фитоценоза без катастроф со

временем заменят главную породу. В то же время к настоящему моменту сосновые насаждения продолжают оставаться долговечными.

Ключевые слова. Неморализация, сосна обыкновенная, липа мелколистная, клен остролистный, строение древостоя, трансформация структуры, изменение климата, урбанизированная среда.

Nemoralization of Moscow's Scots pine forests in the context of climate change

D.V. Lezhnev ^{1,2,3)}, S.A. Korotkov ^{2,3)}

¹⁾ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academ,
49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation

²⁾ Institute of Forest Sciences RAS,
21, Sovetskaya str., 143030, Uspenskoe, Moscow region, Russian Federation;

³⁾ Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University,
1, pervaya Institutskaya str., 141005, Mytischki, Moscow region, Russian Federation

*Correspondence address: lezhnev.daniil@yandex.ru

Abstract. The article considers the vertical and horizontal structure of pine forests in an urbanized environment. Forest ecosystems of the Moscow urban agglomeration are exposed to complex impacts of external factors, including climate change and increasing urbanization. The objects of the study were 15 permanent observation plots on the territory of the Serebryanoborsky Experimental Forestry, the Forest Experimental Station and the Losiny Ostrov National Park. Stands of different ages were selected: from ripening to overmature. The aim of the study was to assess the ongoing nemoralization in pine forests of *Pineta compositum*. The study identified phytocenotic tiers of the tree stand. The second tier included trees whose height was less than 80% of the average height of the pine element of the forest. The beginning of the formation of the broad-leaved second tier is noted starting from III-IV age classes of Scots pine. *Tilia cordata* Mill. is found in the second tier at all study sites. The studied pine stands of the Moscow region, regardless of the age class, have a clearly expressed two-peaked curve of tree distribution by thickness grades, which is typical for mixed and complex-shaped stands. This occurs due to the introduction of broad-leaved species under the canopy. With increasing age, there is a natural loss of Scots pine and "gap" are formed. *Acer platanoides* L. is found in all the considered test plots in the Moscow region. The largest amount of undergrowth can reach about 16.700 pcs./ha. *Tilia cordata* Mill. also occupies a significant part of the undergrowth in the studied objects. Broad-leaved species that successfully grow under the canopy of pine stands will eventually replace the main species if the phytocenosis develops without catastrophes. At the same time, pine stands continue to remain long-lived to date.

Keywords. Nemoralization, *Pinus sylvestris* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer platanoides* L., tree stand structure, structural transformation, climate change, urbanized environment.

Введение

Современное глобальное потепление, отчетливо выраженное на территории Российской Федерации, имеет ряд важных особенностей. Потепление над сушей в целом происходит быстрее, чем над океаном: темп роста среднегодовой глобальной приповерхностной температуры над сушей – более чем в 1.5 раза выше и составляет примерно 0.30°C за десятилетие. Территория России теплеет еще почти вдвое быстрее, чем суша в целом: 0.49°C за последние десять лет (Третий оценочный доклад..., 2022). Прогнозы шестого этапа проекта взаимного сравнения связанных моделей (CMIP6) предполагают, что температура на территории Европы будет продолжать увеличиваться в течение XXI в. более высокими темпами, чем в среднем на Земле (Larsen et al., 2023).

Эволюция климатической системы на современном этапе включает не только естественную, как это было в исторические периоды, но и антропогенную составляющую, обусловленную эмиссиями парниковых газов в атмосферу за счет хозяйственной деятельности (Григорьева, Константинов, Школьник, 2016; Clayton et al., 2023).

Э.Г. Коломыц (2020) приходит к выводу, что современное глобальное потепление находит определенное отражение в происходящих структурно-функциональных изменениях природных экосистем в средней части Русской равнины.

На территории Московского региона также наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха, увеличивается вегетационный период, а осадки приобретают ливневый характер. Отмечается увеличение частоты катастрофических погодных явлений, таких как шквалистые ветра (Леса Европейской территории..., 2017; Lebedev, 2022).

Лесные экосистемы динамичны, их таксационные показатели и средообразующие функции изменяются как в пространстве, так и во времени под воздействием эндогенных и экзогенных факторов (Мерзленко и др., 2018; Кудрявцев, 2022; Lezhnev et al., 2024). На сегодняшний день лесные экосистемы Московской городской агломерации также подвержены комплексному воздействию факторов извне: изменение климата и антропогенное влияние за счет роста численности населения и, как следствие, увеличение неконтролируемой рекреационной нагрузки (Рыбакова, Глазунов, 2023; Лежнев, 2023а; Забелин, Голубева, 2023; Коротков, 2023).

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) занимает обширный ареал. В естественных условиях вид широко распространен на территории Евразии, начиная от Испании и Великобритании и до бассейна реки Алдан и среднего течения Амура в Восточной Сибири. Сосновые леса имеют большое хозяйственное и средообразующее значение. Данный вид характеризуется широким климатическим и эдафическим диапазоном. В течение двадцатого века в

Европе произошло значительное расширение лесопокрытой площади с преобладанием в составе сосны. В настоящее время эта лесная формация составляет более 20% от лесов Европы. (Mason, Alia, 2000; Durrant, De Rigo, Caudullo, 2016; Brichta et al., 2023).

Авторы под неморализацией понимают процесс увеличения доли широколиственных пород и их спутников во всех фитоценологических ярусах: древостое, подросте и подлеске. Также показателем неморализации является увеличение видов живого напочвенного покрова, характерных для широколиственных лесов при соответствующем сокращении бореальных видов. Данный процесс необходимо рассматривать во времени, и он может иметь различную направленность.

Цель исследования – оценить протекающую неморализацию и дать прогнозные оценки дальнейшего развития сосняков сложных, расположенных на территории города Москвы.

Задачи:

- изучить вертикальную структуру сосновых фитоценозов;
- оценить горизонтальную структуру ценопопуляций древесных растений, формирующих древостой;
- оценить тенденции и перспективы дальнейшего развития сосняков сложных в урбанизированной среде.

Материалы и методы

Для изучения современных тенденций в естественной смене видового состава сосновых насаждений Москвы были проанализированы данные на 15 постоянных пробных площадях (ППП), заложенных на территории Серебряноборского опытного лесничества Института лесоведения РАН, Лесной опытной дачи Тимирязевской академии и национального парка «Лосиный остров» (рис. 1).

Измерения на ППП проводились по общепринятой лесоводственной методике. В ходе полевых исследований 2020-2023 гг. на исследуемых постоянных пробных площадях проведены следующие виды работ: сплошной пересчет деревьев с диаметром 6 см и более, через окружность ствола на высоте 1.3 м; для определения средней высоты измеряли высоты деревьев каждой породы: для главного яруса 20-30 модельных деревьев и 10-20 деревьев сопутствующего яруса высоотомером *Haglof Vertex III*; глазомерная оценка жизненного состояния деревьев и распределение их по категориям санитарного состояния; для определения количественной и качественной характеристики подроста и подлеска выполнялась закладка учетных площадок размером 25 м², в количестве 5 шт., расположенных методом «конверта».

По результатам сплошного пересчета деревьев вычислены значения запасов по элементам леса, по соотношению которых изучался породный состав и вертикальная структура сосновых древостоев. Для характеристики вертикальной структуры насаждений высота первого яруса принималась равной средней высоте соснового элемента леса. Выделялся фитоценотический второй

ярус, к которому относили деревья, высота которых составляла менее 80% от средней высоты первого яруса (Глазунов и др., 2024; Korotkov et al., 2023).



Рисунок 1. Карта-схема с расположением объектов исследования в Москве

Figure 1. Map with the location of research objects in Moscow

Полевые материалы, собранные на ППП в ходе данного исследования, обрабатывались с применением компьютерных программ «STATISTICA 12.0» и «Microsoft Excel 2020». Измерения таксационных параметров древесных растений проведены в количестве, обеспечивающем достоверность различия между показателями, определялась на 95% доверительном уровне.

Объектами исследования выбраны сосновые леса, у которых тип лесорастительных условий свежие и влажные сложные субори ($C_2 - C_3$), тип леса – сосняк сложный, бонитет Ia – II. Пробные площади представляют сосновые насаждения от приспевающих до старовозрастных. Сводная характеристика лесоводственно-таксационных показателей на 15 постоянных пробных площадях приведена в табл. 1.

Таблица 1. Таксационное описание постоянных пробных площадей на объектах исследования

Table 1. Taxation description of permanent observation plots at study sites

№ ППП S, га	Год перес- чёта	Ярус	Состав	Густо- та, шт./га	Возраст сосны, лет	Средние значения		Полно- та, отн.	Запас м³/га
						высота, м	диаметр, см		
Серебряноборское опытное лесничество Института лесоведения РАН									
ОМ-1 0.70	2020	I	99С	159	143	30.5	52.8	0.82	473
			1Б	19		27.3	34.4	0.04	16
		II	73Б	111		18.8	17.4	0.07	24
			12Д	20		16.4	18.8	0.01	4
			12Лп	9		20.8	23.0	0.01	4
		ЗКлю	3		17.8	18.5	0.01	1	

№ ППП S, га	Год перес- чёта	Ярус	Состав	Густо- та, шт./га	Возраст сосны, лет	Средние значения		Полно- та, отн.	Запас м³/га
						высота, м	диаметр, см		
ППП-1 0.50	2023	I	89С	128	214	32.2	59.8	0.76	514
			7Б	12		30.6	55.1	0.08	38
			4Лп	10		30.9	45.4	0.04	23
		II	86Лп	188		23.6	23.7	0.21	90
			9Б	20		20.1	26.4	0.08	9
ППП-2 0.25	2021	I	5Кло	44	192	17.0	12.6	0.02	5
			93С	112		30.2	51.7	0.56	317
			7Б	20		28.5	28.7	0.03	17
		II	44Лп	40		18.7	20.3	0.03	12
			30Д	28		18.6	20.7	0.02	8
ППП-14 0.32	2022	I	26Б	20	144	22.2	21.1	0.02	7
			97С	203		32.6	45.9	0.71	485
			3Лп	9		27.0	39.3	0.03	14
		II	79Лп	222		21.9	19.0	0.16	64
			17Б	41		23.9	20.1	0.05	14
ППП-115 0.28	2022	I	3Кло	31	93	17.2	10.6	0.01	2
			2Д	6		15.0	18.5	0.01	1
			78С	236		30.0	40.4	0.60	410
		II	22Б	86		28.4	35.3	0.26	109
			92Лп	400		12.4	11.7	0.20	38
Лесная опытная дача РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева									
4/Б 0,14	2022	I	8Б	29	132	18.5	15.1	0.02	5
			94С	468		32.0	34.6	0.92	639
		II	6Лп	43		28.6	31.5	0.10	41
4/К 0.06	2022	I	63Кло	191	132	15.3	15.9	0.13	25
			37Лп	50		16.0	22.4	0.06	15
			74С	383		30.4	30.6	0.69	387
		II	26Лп	48		32.9	50.9	0.12	137
			60Лп	64		17.9	21.1	0.05	18
4/Л 0.08	2022	I	20В	48	133	13.9	15.7	0.01	6
			20Кло	32		17.1	18.5	0.01	6
			77С	287		30.2	33.3	0.52	339
		II	23Лп	78		29.0	36.9	0.22	100
			39Лп	39		16.4	17.9	0.04	7
4/М 0.09	2022	I	39В	78	133	15.5	12.7	0.03	7
			22Кло	39		14.3	13.5	0.01	4
			91С	425		31.3	34.7	0.80	565
		II	9Лп	44		32.7	35.3	0.14	57
			55Лп	18		18.7	18.4	0.06	12
		II	32В	44		15.1	16.7	0.02	7
			13Кло	22		14.2	16.9	0.01	3

№ ППП S, га	Год перес- чёта	Ярус	Состав	Густо- та, шт./га	Возраст сосны, лет	Средние значения		Полно- та, отн.	Запас м³/га
						высота, м	диаметр, см		
4/P 0.09	2022	I	73С	361	132	30.2	32.7	0.55	411
			13Лп	55		26.9	38.1	0.16	73
			10Е	33		31.0	38.9	0.12	56
			4Д	22		30.6	32.9	0.07	23
		II	52Лп	66		17.6	15.5	0.05	10
			26Кло	55		13.7	13.1	0.02	5
			11Е	22		10.7	12.6	0.01	2
			11В	33		9.5	14.4	0.01	2
Национальный парк «Лосинный остров»									
ППП-3 0.25	2022	I	96С	500	72	27.7	31.3	0.78	479
			4Б	32		27.5	26.1	0.06	21
		II	53Лп	124		15.3	14.9	0.07	16
			47Я	112		15.1	14.5	0.09	14
ППП-5 0.25	2022	I	87С	400	74	28.0	32.3	0.71	410
			10Б	36		31.8	33.5	0.09	45
			3Лп	20		25.5	28.4	0.03	15
		II	90Лп	188		17.1	17.5	0.11	37
ППП-11 0.25	2022	I	10Д	64	84	12.1	10.7	0.03	4
			96С	476		30.7	35.2	0.80	568
		4Б	20	30.5		33.7	0.05	22	
		II	81Лп	540		16.4	15.9	0.23	85
			12Е	40		19.8	19.1	0.03	11
			7В	28		19.0	17.5	0.02	6
ППП-54 0.30	2023		I	53С	257	71	27.8	29.4	0.35
		35Б		83	27.7		42.1	0.34	145
		9Д		23	26.0		40.9	0.09	36
		4Лп		20	22.6		32.1	0.06	17
		II	52Кло	197	17.9		12.8	0.09	22
			25Лп	157	14.6		10.9	0.06	11
			23Д	43	18.7		17.8	0.04	10
			ППП-55 0.35	2023	I		42С	66	148
46Б	143	26.3				35.1	0.46	159	
12Лп	61	22.4				27.8	0.12	41	
II	70Лп	183			15.2	14.4	0.08	21	
	30Д	40			18.6	17.9	0.04	9	

Примечание / Note: С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.),
Е – ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.),
Б – береза повислая (*Betula pendula* Roth.),
Лп – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.),
Кло – клен остролистный (*Acer platanoides* L.),
Д – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.),
В – вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.),
Я – ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall).

Результаты

По результатам исследований установлено, что в сосновых насаждениях начинает формироваться второй ярус начиная с III-IV классов возраста главной породы (рис. 2-4).

Изучение структуры соснового древостоя в Серебряноборском опытном лесничестве показало, что первый ярус в древостоях сформирован сосной с незначительной долей березы и иногда липы (Лежнев, Дубей, 2023). Второй ярус преимущественно представлен в основном широколиственными породами (липа, дуб и клен) (Лежнев и др., 2022).

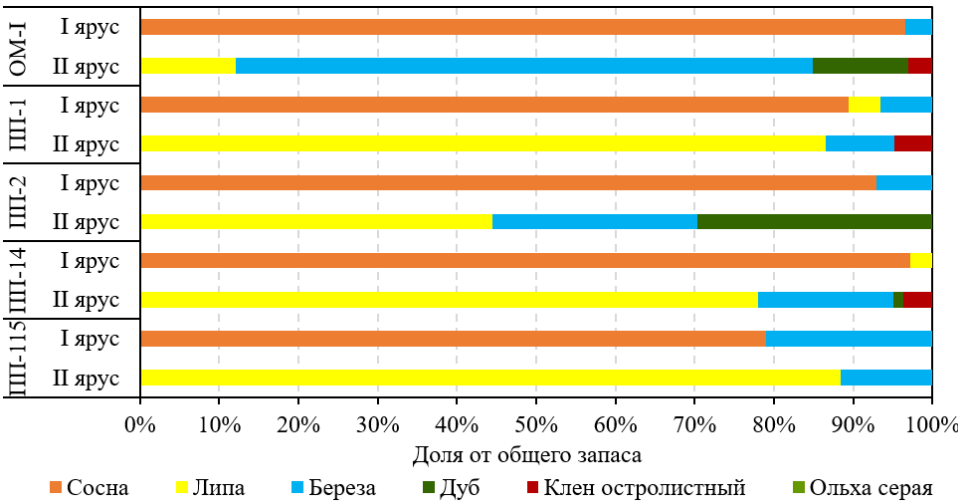


Рисунок 2. Вертикальная структура древостоев на ППП
в Серебряноборском опытном лесничестве

Figure 2. Vertical structure of forest stands at the permanent observation plots
in Serebryanoborsky Experimental Forestry

На рис. 2 рассматривается состав и вертикальное строение древостоев Серебряноборского лесничества. В первом ярусе везде доминирует сосна. Лишь на ППП-115 примесь березы существенна и составляет 22% по запасу.

На всех объектах во втором ярусе отмечается участие липы. На трех пробных площадях запас второго яруса находится в диапазоне 27-43 м³/га. в то время как на ППП-1 и ППП-14 он значительно выше и находится в пределах 91-104 м³/га. Под полог спелых и перестойных сосняков проникает достаточно много света и во второй ярус входит не только теневыносливая липа, но и светолюбивая береза. На ОМ-1 и ППП-2 во втором ярусе отмечается участие дуба с запасом 4-8 м³/га.

На протяжении многих десятилетий на ППП в Лесной опытной даче насаждения были представлены одноярусными одновозрастными чистыми сосновыми или сосново-еловыми древостоями. С 1980-х годов наметилась тенденция к внедрению в верхний полог широколиственных пород (Дубенок и др., 2024). В настоящее время сосняки Лесной дачи состоят из двух

ярусов древостоя. В первом ярусе присутствует липа мелколистная, доля запаса которой составляет от 6 до 26%. Второй ярус формируется небольшим количеством пород: от двух до четырех. Его запас находится в пределах 18-40 м³/га.

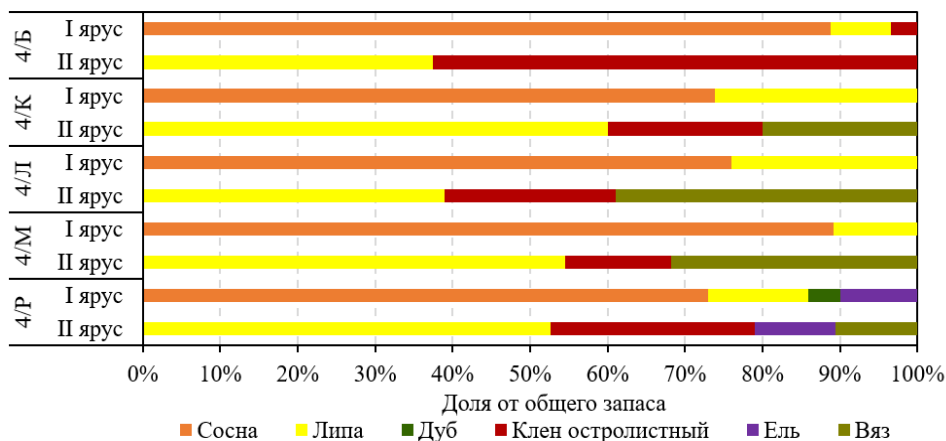


Рисунок 3. Вертикальная структура древостоев на ППП в Лесной опытной даче

Figure 3. Vertical structure of forest stands at the permanent observation plots in the Forest Experimental Station

На пробных площадях «Лосинового острова» выделяются две подгруппы (рис. 4). На ППП-3, 5, 11 доля сосны по запасу в первом ярусе колеблется от 87 до 96%. Вместе с тем на ППП-54 и ППП-55 происходит выпадение сосны из состава древостоя. Оставшиеся экземпляры сосны составляют от 42 до 53% запаса первого яруса. Во втором ярусе отмечено семь древесных видов: липа мелколистная, ель европейская, береза повислая, клен остролистный, дуб черешчатый, вяз гладкий и ясень пенсильванский. Липа во втором ярусе присутствует на всех исследуемых ППП. Ее доля колеблется от 25 до 90% в составе второго яруса. Наибольшая доля дуба во втором ярусе встречается на ППП-54 и ППП-55, где он получал достаточно света в образовавшихся «окнах» из-за выпадающих деревьев.

Таким образом, на объектах исследования в сосновых лесах к IV классу возраста формируются двухъярусные насаждения. На всех, без исключения, постоянных пробных площадях отмечается значительное внедрение широколистных пород во второй ярус.

Дополнительно проанализировано распределение деревьев по ступеням толщины в различных сукцессионных рядах насаждений (от приспевающих через спелые к старовозрастным). В качестве типичных выбраны пробные площади: ППП-1 в Серебряноборском опытном лесничестве (XI класс возраста), ППП-4/М в Лесной опытной даче (VII класс возраста) и ППП-45 в национальном парке «Лосиный остров» (IV класс возраста) (рис. 5-7).

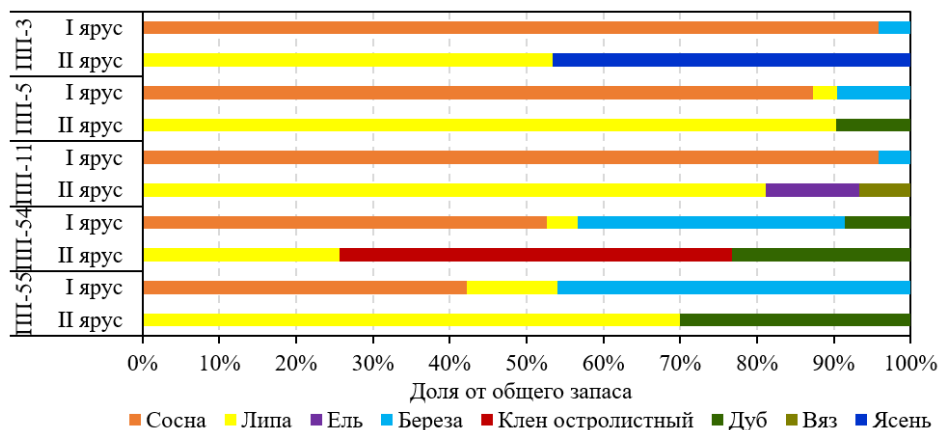


Рисунок 4. Вертикальная структура древостоев на ППП в Лосином острове

Figure 4. Vertical structure of forest stands at the permanent observation plots in Losiny Ostrov

Анализ распределения деревьев по ступеням толщины в старовозрастных сосновых насаждениях показал, что для сосны обыкновенной максимум приходится на ступень толщины 64 см, а толщина варьирует в пределах 32-64 см. Для липы мелколистной отмечается самый большой диапазон изменчивости толщин от 8 до 48 см с преобладанием в ступени толщины 20 см. Кроме того, важно отметить постепенное внедрение из подроста во второй ярус клена остролистного с диапазоном толщины от 8 до 16 см (рис. 5). Исследуемые сосновые древостои в СОЛ ИЛАН РАН имеют ярко выраженную двухвершинную кривую распределения деревьев по ступеням толщины, что свойственно для смешанных и сложных по форме насаждений.

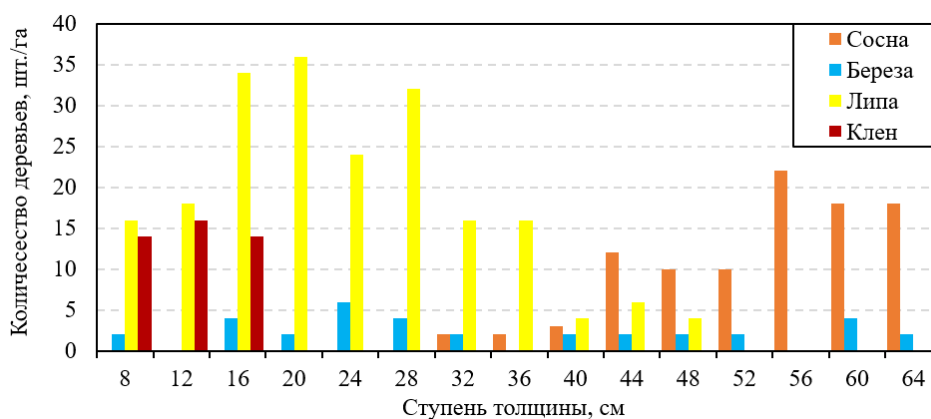


Рисунок 5. Распределение деревьев по ступеням толщины в старовозрастном насаждении на территории Серебряноборского опытного лесничества (ППП-1)

Figure 5. Distribution of trees by thickness level in an old-growth stand on the territory of the Serebryanoborsky Experimental Forestry (POP-1)

Анализ распределения деревьев по ступеням толщины на ППП 4/Б показал, что максимум сосны приходится на ступень толщины 48 см, а толщина варьирует в пределах 20-48 см, молодое поколение не формируется (рис. 6).

Для липы мелколистной диапазон толщин составил от 12 до 36 см с преобладанием в ступени толщины 28 см, а также отмечается самый большой диапазон изменчивости. Для клена остролистного значения толщин сконцентрированы в ступени толщины 20 см, отмечается значительное снижение численности клена с увеличением его диаметра.

Следовательно, на ППП происходит трансформация структуры древостоя из простого в сложный за счет внедрения широколиственных видов в I и II ярусы, которые сформированы несколькими генерациями.

Установлена трансформация структуры в сосновых лесах ЛОД. Широколиственные породы, находящиеся в более высоких ступенях толщины, формируют молодое поколение и тем самым растягивают ряд распределения деревьев по ступеням толщины. Наличие нескольких поколений клена и липы указывает на то, что процесс трансформации структуры сосновых фитоценозов начался примерно в 1960-1970-х гг. и продолжается до настоящего времени (Лежнев, Лебедев, 2024).

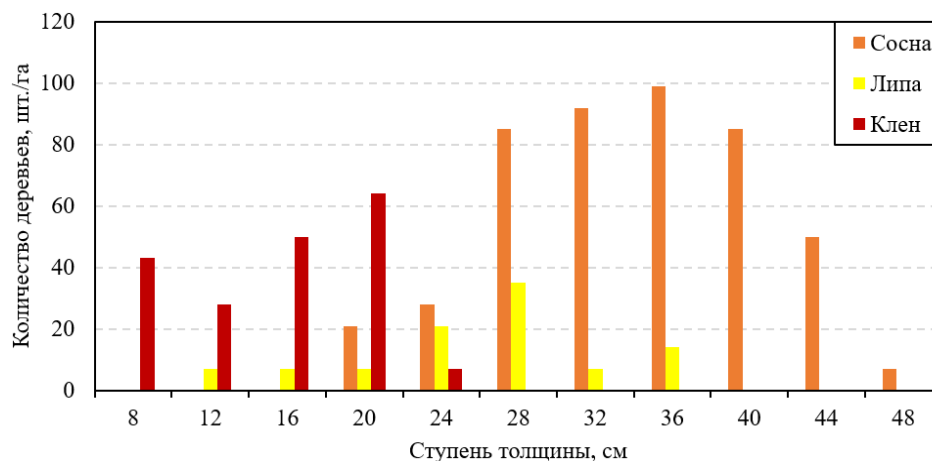


Рисунок 6. Распределение деревьев по ступеням толщины в спелом насаждении на территории Лесной опытной дачи (ППП-4/Б)

Figure 6. Distribution of trees by thickness level in a mature stand on the territory of the Forest Experimental Station (POP-4/B)

Анализ распределения деревьев по ступеням толщины в приспевающих сосновых насаждениях (ППП-54) показал, что для данной породы диапазон толщин варьирует от 8 до 24 см с преобладанием в ступени толщины 8 см, что указывает на несколько генераций клена и его активное внедрение во второй ярус древостоя. Помимо клена, на ППП-54 представлены липа и дуб, имеющие также несколько поколений и, как следствие, растянутые ряды распределения по толщине (рис. 7).

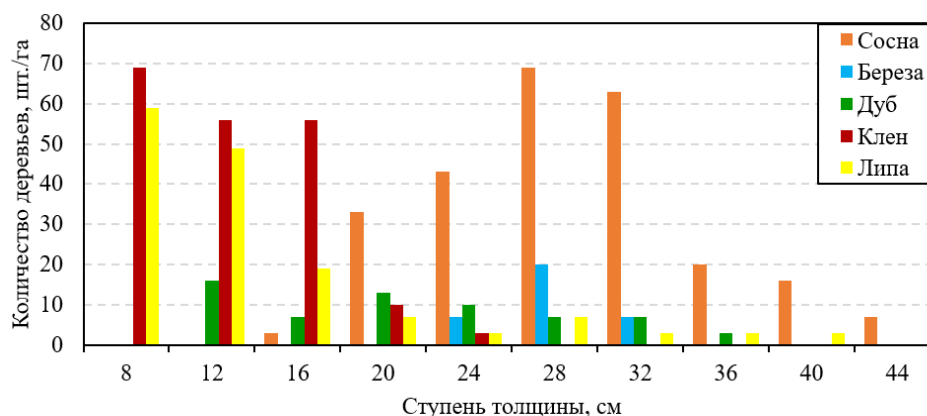


Рисунок 7. Распределение деревьев по ступеням толщины в приспевающем насаждении на территории национального парка «Лосиный остров» (ППП-54)

Figure 7. Distribution of trees by thickness level in a ripening stand on the territory of the Losiny Ostrov National Park (POP-54)

Дискуссия

В настоящий момент в лесных экосистемах Московского региона протекает последовательная закономерная смена одного фитоценоза другим в результате изменения климатических характеристик и высокого рекреационного использования, что в совокупности приводит к трансформации сосновых к смешанным хвойно-широколиственным лесам со сложной вертикальной структурой и тенденцией к увеличению фитоценотической роли широколиственных видов.

Установлена тенденция восстановления хвойно-широколиственных лесов из-за увеличения среднегодовых температур, повышения годового количества осадков и создания особой климатической системы внутри города. Вместе с тем прослеживается процесс увеличения доли наиболее устойчивых к урбанизированным условиям (рекреация и техногенное воздействие) древесных видов: липы мелколистной, клена остролистного и вяза гладкого.

Неморализация также отмечается и в нижних ярусах древесно-кустарниковой растительности сосняков сложных города Москвы. Проанализировано состояние подроста на исследуемых ППП, стоит отметить, что в подросте хвойные породы (сосна обыкновенная и ель европейская) присутствуют только в Серебряноборском опытном лесничестве (ППП-115) и составляют около 1/5 от общего количества. При этом сосна обыкновенная имеет незначительную среднюю высоту 25.3 ± 2.7 см (табл. 2).

Клен остролистный встречается на всех рассматриваемых пробных площадях в Московском регионе. Наибольшее количество подроста наблюдается в Лесной опытной даче (ППП-4/Р) и составляет 16.7 тыс. шт./га (Лежнев, 2024). Также значительную часть в подросте на исследуемых объектах занимает липа мелколистная.

Таблица 2. Данные перечета подроста на постоянных пробных площадях

Table 2. Data from the census of undergrowth on permanent observation plots

№ ППП	Состав древостоя, по ярусам	Возраст сосны, лет	Состав подроста	Густота под- роста, шт./га
Серебряноборское опытное лесничество Института лесоведения РАН				
ОМ-1	10С+Б 7Б1Д1Лп1Олс+Кло	143	6Кло3Лп1Д	940
ППП-1	9С1Б+Лп 9Лп1Б+Кло	214	5Кло4В1Лп	1510
ППП-2	9С1Б 4Лп3Д3Б	149	10Кло+Лп, Д	1790
ППП-14	10С+Лп 8Лп2Б+Кло, Д	144	8Кло2Лп	7110
ППП-115	8С2Б 9Лп1Б	93	6Лп2Кло2С+Е	2540
Лесная опытная дача РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева				
4/Б	9С1Лп 6Кло4Лп	132	6Кло4Клб +Лп, Д, В	7520
4/К	7С3Лп 6Лп2В2Кло	132	8Кло2В+Клб	4790
4/Л	8С2Лп 4Лп4В2Кло	133	8Кло2В+Д	3840
4/М	9С1Лп 6Лп3В1Кло	133	6Кло3В1Клб+Лп, Д	4860
4/Р	7С2Лп1Е+Д 5Лп3Кло1Е1В	132	6Д4Кло+В, Лп	16720
Национальный парк «Лосиный остров»				
ППП-3	10С+Б 5Лп5Я	72	7Кло1Кля1Лп1В+Д	5600
ППП-5	9С1Б+Лп 8Лп1Д1Е	74	10Кло+Лп, Е	8370
ППП-11	10С+Б 8Лп1Е1В	84	5Кло4В1Лп	1060
ППП-53	3С5Б1Лп1Д+В 3Б3Кло2Лп1Д1В	73	10Кло+В	2290
ППП-54	5С4Б1Д+Лп 5Кло3Лп2Д	71	8Кло1Д1В	5510

В подросте «Лосиного острова» доминирует клен остролистный, в среднем его количество составляет около 3.7 тыс. шт./га. Стоит отметить, что данный вид часто встречается в лесах центральной части Русской равнины в составе возобновления, но древостой образует очень редко (Абатуров, Меланхолин, 2004; Лежнев, Коротков, 2024).

В живом напочвенном покрове на изучаемых объектах в сосновых лесах также, как и в древостое, отмечается процесс неморализации. На это указывает преобладание неморальной эколого-ценотической группы в травяно-

кустарничковом ярусе сосняков города Москвы (Лежнев, 2023б; Лежнев, Меняева, 2023). Это обусловлено развитием широколиственных видов во всех ярусах фитоценоза, что значительно меняет световой режим, условия минерального питания травянистой растительности и приводит к определенным изменениям в флористическом составе и структуре травяно-кустарничкового яруса сосняков Москвы.

В целом для лесов Русской равнины характерна смена хвойных лесных формаций на производные, в первую очередь мягколиственные. Это прежде всего связано с интенсивным лесопользованием в предыдущие годы (Демаков, Исаев, 2017; Теринов и др., 2020; Шатравко, Рожков, 2021).

М.Ю. Пукинская (2021) на примере неморальных ельников Центрально-лесного заповедника показала, что в настоящее время совпадение потепления климата со старением елового древостоя, а также снятие антропогенного влияния способствовали выходу клена остролистного и липы мелколистной из подроста в верхние ярусы и смене елового леса на еловошироколиственный.

В древостоях коренных ельников заповедника «Кологривский лес» за последние 40 лет произошло увеличение доли широколиственных древесных пород, главным образом, липы мелколистной. При этом заметных различий в количественных и качественных характеристиках подроста и подлеска не выявлено (Дубенок, Лебедев, Чистяков, 2024; Дубенок и др., 2024).

В.В. Киселева (2021) для национального парка «Лосиный остров» отмечает, что за последние 60-70 лет по породному составу характер леса становится менее бореальным, особенно в исторической части национального парка. При этом значительную роль начинают играть липовые насаждения.

Заключение

Изменение таксационных показателей липы мелколистной, прежде всего увеличение высоты, указывает на благоприятные условия для ее развития под пологом соснового древостоя. При этом с возрастом происходит закономерный отпад сосны обыкновенной и образуются «окна». Лиственные породы, успешно произрастающие под пологом соснового древостоя, при развитии фитоценоза без катастроф со временем заменят главную породу.

В настоящее время для сосновых древостоев города Москвы характерны процессы неморализации, что также связано с трансформацией климата. В результате во многих случаях наблюдается смена сосны, прежде всего широколиственными породами: липой мелколистной и кленом остролистным.

Строение сосновых насаждений носит ярко выраженное многовершинное распределение. Это обусловлено наличием нескольких пород различного возраста, слагающих древостой.

В исследуемых сосновых древостоях увеличивается долевое участие широколиственных видов (липы мелколистной, клена остролистного и вяза гладкого).

В живом напочвенном покрове преобладают виды неморальной эколого-ценотической группы, что соответствует облику хвойно-широколиственных лесов. На объектах исследования в городе Москве отмечена неморализация во всех ценоэлементах сосновых лесов.

Список литературы

Абатуров, А.В., Меланхолин, П.Н. (2004) *Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскowie, Российская академия наук. Институт лесоведения, Тула, Гриф и К°, 333 с.*

Глазунов, Ю.Б., Коротков, С.А., Лежнев, Д.В., Титовец, А.В. (2024) Формирование сосняков сложных в Серебряноборском опытном лесничестве, *Лесоведение*, № 6, с. 595-603.

Григорьева, С.О., Константинов, А.В., Школьник, И.М. (2016) Влияние изменений климата на состав древостоев, их устойчивость и ареалы основных лесобразующих пород, *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*, № 3, с. 4-21.

Демаков, Ю.П., Исаев, А.В. (2017) Динамика состояния сосновых древостоев на постоянных пробных площадях, *Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага»*, № 8, с. 257-310.

Дубенок, Н.Н., Лебедев, А.В., Чистяков, С.А. и др. (2024) Динамика видового состава лесных фитоценозов за 40-летний период в заповеднике «Кологривский лес», *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*, № 1(74), с. 59-70, doi:10.34655/bgsha.2024.74.1.008.

Дубенок, Н.Н., Лебедев, А.В., Чистяков, С.А. (2024) Динамика лесоводственно-таксационных показателей древостоев на постоянных пробных площадях в коренных ельниках заповедника «Кологривский лес», *Лесохозяйственная информация*, № 2, с. 37-46, doi:10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.03.

Забелин, И.А., Голубева, Е.И. (2023) Перспективы развития лесопаркового защитного пояса Москвы, *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, серия Естественные и медицинские науки*, № 3, с. 5-23.

Киселева, В.В. (2019) Динамика типов леса и типов насаждений национального парка "Лосиный остров", *Лесной вестник, Forestry bulletin*, т. 23, № 2, с. 20-28.

Коломыц, Э.Г. (2020) Экологические эффекты современного глобального потепления в лесных геосистемах Волжского бассейна, *География и природные ресурсы*, № 3(162), с. 43-54.

Коротков, С.А. (2023) *Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины*, Москва, Доблесть эпох, 168 с.

Кудрявцев, А.Ю. (2022) Динамика экосистем свежей субори центра Приволжской возвышенности, *Поволжский экологический журнал*, № 3, с. 279-291.

Лежнев, Д.В., Меняева, В.А. (2023) Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах национального парка "Лосинный остров". Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития, *Материалы III Международной научно-практической конференции. приуроченной к 75-летию географического факультета*, Иркутск, 21-23 июня 2023 года, Иркутск, Иркутский государственный университет, с. 156-161.

Лежнев, Д.В. (2023б) Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах Лесной опытной дачи Тимирязевской академии, *Международная научная конференция молодых учёных и специалистов. посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева*, Сборник статей, Москва. 05-07 июня 2023 года, Москва, Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева, с. 59-63.

Лежнев, Д.В. (2024) Естественное возобновление под пологом сосновых насаждений в урбанизированной среде, *Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов. посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича*. Сборник статей. Москва. 03-05 июня 2024 года, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, с. 154-157.

Лежнев, Д.В., Коротков, С.А. (2024) Естественное возобновление под пологом сосновых фитоценозов в Московском регионе, *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, № 248, с. 6-26, doi:10.21266/2079-4304.2024.248.6-26.

Лежнев, Д.В., Лебедев, А.В. (2024) Онтогенетическая структура ценопопуляций древесных растений в спелых сосновых насаждениях Москвы, *Поволжский экологический журнал*, № 4, с. 471-486, doi:10.35885/1684-7318-2024-4-471-486.

Лежнев, Д.В. (2023а) Строение сосновых фитоценозов в Московском регионе под влиянием климатических трансформаций, *Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг*, № 9, с. 63-73, doi:10.25686/foreco.2023.10.66.007.

Лежнев, Д.В., Дубей, Д., Глазунов, Ю.Б., Коротков, С. А. (2022) Динамика сосновых лесов в Серебряноборском участковом лесничестве Московской области, *Вопросы геологии и комплексного изучения экосистем Восточной Азии*, Сборник докладов, электронное издание, Благовещенск, 04-07 октября 2022 года, Благовещенск, ИГиП ДВО РАН, с. 217-219.

Ольчев, А.В, Авилов, В.К., Байбар, А.С и др., (2017) *Леса Европейской территории России в условиях меняющегося климата*, Москва, Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК, 276 с. ISBN 978-5-9909884-1-5.

Мерзленко, М.Д., Глазунов, Ю.Б., Львов, Ю.Г., Перевалова, Е.А. (2018) Динамика роста сосны в старовозрастных древостоях сложного бора, *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, № 4(364), с. 31-39, doi:10.17238/issn0536-1036.2018.4.31.

Пукинская, М.Ю. (2021) Смена пород в неморальных ельниках Центрально-лесного заповедника, *Поволжский экологический журнал*, № 4, с. 459-476.

Рыбакова, Н.А., Глазунов, Ю.Б. (2023) Динамика радиальных приростов лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) в условиях антропогенной нагрузки, *Лесной вестник, Forestry Bulletin*, т. 27, № 4, с. 5-13, doi:10.18698/2542-1468-2023-4-5-13.

Теринов, Н.Н., Андреева, Е.М., Залесов, С.В. и др. (2020) Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения, *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, № 3(375), с. 9-23, doi:10.37482/0536-1036-2020-3-9-23.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2022) Общее резюме, Санкт-Петербург, Научные технологии 124 с.

Шатравко, В.Г. Рожков, Л.Н. (2021) Особенности воспроизводства и выращивания сосновой формации Беларуси, *Труды БГТУ. Серия 1 Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*, № 2, с. 58-65.

Brichta, J. et al. (2023) Importance and potential of Scots pine (*L.*) in 21 century, *Central European Forestry Journal*, no. 1, pp. 3-20.

Clayton, C.J. et al. (2023) High Resolution Simulations of European Air Quality in 2050 Following Different CMIP6 Climate Change Mitigation Pathways, *Copernicus Meetings*, no. EGU23-4217.

Durrant, T.H., De Rigo, D., Caudullo, G. (2016) *Pinus sylvestris* in Europe, distribution, habitat, usage and threats, *European atlas of forest tree species*, pp. 845-846.

Korotkov, S., Stonozenko, L., Lezhnev, D., Eregina, S. (2023) Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region, *II International Conference "Sustainable Development, Agriculture. Veterinary Medicine and Ecology" (VMAEE-II-2023)*, vol. 3011, New York, USA, AIP Publishing, p. 20031, doi:10.1063/5.0161107.

Larsén, X.G. et al. (2023) The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6, *Wind Energy Science Discussions*, pp. 1-25.

Lebedev, A.V. (2022) Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862, *Journal of Forestry Research*, pp. 34-36.

Lezhnev, D., Korotkov, S., Stonozenko, L., Popova, A. (2024) The growing dynamic of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the Moscow Region, *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, vol. 3184, no. 1, p. 20045.

Mason, W. L., Alía, R. (2000) Current and future status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Europe, *Forest Systems*, vol. 9, pp. 317-335.

Prietzl, J. et al. (2020) Half a century of Scots pine forest ecosystem monitoring reveals long-term effects of atmospheric deposition and climate change, *Global Change Biology*, vol. 26, № 10, pp. 5796-5815.

References

Abaturov, A.V., Melancholine, P.N. (2004) *Estestvennaja dinamika lesa na postojannyh probnyh ploshhadjah v Podmoskov'e* [Natural forest dynamics on permanent trial plots in the Moscow region], Russian Academy of Sciences, Institute of Forestry, Tula, Russia, 333 p.

Glazunov, Yu.B., Korotkov, S.A., Lezhnev, D.V., Titovets, A.V. (2024) Formirovanie sosnjakov slozhnyh v Serebrjanoborskom opytnom lesnichestve [Formation of complex pine forests in Serebryanoborsky Experimental Forestry], *Forestry*, pp. 595-603.

Grigorieva, S.O., Konstantinov, A.V., Shkolnik, I.M. (2016) Vlijanie izmenenij klimata na sostav drevostoev. ih ustojchivost' i arealy osnovnyh lesoobrazujushhih porod [The impact of climate change on the composition of tree stands, their stability and the areas of the main forest-forming species], *Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry*, no. 3, pp. 4-21.

Demakov, Yu.P., Isaev, A.V. (2017) Dinamika sostojanija sosnovykh drevostoev na postojannyh probnyh ploshhadjah [Dynamics of the state of pine stands on permanent test plots], *Scientific works of the State Nature Reserve "Bolshaya Kokshaga"*, no. 8. pp. 257-310.

Dubenok, N.N., Lebedev, A.V., Chistyakov, S.A. et al. (2024) Dinamika vidovogo sostava lesnykh fitocenzov za 40-letnij period v zapovednike «Kologrivskij les» [Dynamics of the species composition of forest phytocenoses over a 40-year period in the Kologrivsky Forest Nature Reserve], *Bulletin of the V.R. Filippov Buryat State Agricultural Academy*, no. 1 (74), pp. 59-70, doi:10.34655 / bgsha.2024.74.1.008.

Dubenok, N.N., Lebedev, A.V., Chistyakov, S.A. (2024) Dinamika lesovodstvenno-taksacionnykh pokazatelej drevostoev na postojannyh probnyh ploshhadjah v korennykh el'nikah zapovednika «Kologrivskij les» [Dynamics of silvicultural and taxation indicators of tree stands on permanent test plots in native spruce forests of the Kologrivsky Forest Nature Reserve], *Forestry information*, no. 2, pp. 37-46, doi:10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.03.

Zabelin, I.A., Golubeva, E.I. (2023) Perspektivy razvitiya lesoparkovogo zashhitnogo pojasa Moskvy [Prospects for the Development of the Forest Park

Protective Belt of Moscow], *Bulletin of the I. Kant Baltic Federal University. Series Natural and Medical Sciences*, no. 3. pp. 5-23.

Kiseleva, V.V. (2019) Dinamika tipov lesa i tipov nasazhdenij nacional'nogo parka " Losinyj ostrov" [Dynamics of Forest Types and Planting Types of the Losiny Ostrov National Park], *Forestry Bulletin*, no. 2, pp. 20-28.

Kolomyts, E.G. (2020) Jekologicheskie jeffekty sovremennogo global'nogo poteplenija v lesnyh geosistemah Volzhskogo bassejna [Ecological effects of modern global warming in forest geosystems of the Volga basin], *Geography and natural resources*, no. 3 (162), pp. 43-54.

Korotkov, S.A. (2023) *Smena sostava drevostoev i ustojchivost' zashhitnyh lesov central'noj chasti Russkoj ravniny* [Change in the composition of tree stands and stability of protective forests of the central part of the Russian Plain], Doblest epoch, Moscow, Russia, 168 p.

Kudryavtsev, A.Yu. (2022) Dinamika jekosistem svezhej subori centra Privolzhskoj vozvyshennosti [Dynamics of ecosystems of fresh subori of the center of the Volga Upland], *Povolzhskiy Journal of Ecology*, no. 3, pp. 279-291.

Lezhnev, D.V., Menyaeva, V.A. (2023) *Vidovoj sostav i struktura zhivogo napochvennogo pokrova v sosnovyh fitocенозах nacional'nogo parka "Losinyj ostrov"* [Species composition and structure of the living ground cover in pine phytocenoses of the Losiny Ostrov National Park]. Safety of nature management in the context of sustainable development: Proceedings of the III International scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Faculty of Geography, Irkutsk, June 21-23, Irkutsk State University, pp. 156-161.

Lezhnev, D.V. (2023b) *Vidovoj sostav i struktura zhivogo napochvennogo pokrova v sosnovyh fitocенозах Lesnoj opytnoj dachi Timirjzevskoj akademii* [Species composition and structure of the living ground cover in pine phytocenoses of the Forest Experimental Dachа of the Timiryazev Academy], International scientific conference of young scientists and specialists dedicated to the 180th anniversary of the birth of K.A. Timiryazev, Collection of articles, Moscow. June 5-7, 2023, Moscow, Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, pp. 59-63.

Lezhnev, D.V. (2024) *Estestvennoe vozobnovlenie pod pologom sosnovyh nasazhdenij v urbanizirovannoj srede* [Natural regeneration under the canopy of pine plantations in an urbanized environment], Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists dedicated to the 150th Anniversary of the Birth of A.Ya. Milovich: Collection of articles. Moscow. June 3-5. 2024, Moscow, Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, pp. 154-157.

Lezhnev, D.V., Korotkov, S.A. (2024) *Estestvennoe vozobnovlenie pod pologom sosnovyh fitocенозов v Moskovskom regione* [Natural regeneration of pine phytocenoses under the canopy in the Moscow region], *Bulletin of the St.*

Petersburg Forest Engineering Academy, no. 248. pp. 6-26, doi:10.21266/2079-4304.2024.248.6-26.

Lezhnev, D.V., Lebedev, A.V. (2024) Ontogeneticheskaja struktura cenopopuljacij drevesnyh rastenij v spelyh sosnovykh nasazhdenijah Moskvy [Ontogenetic structure of woody plant coenopopulations in mature pine stands of Moscow], *Povolzhskiy Journal of Ecology*, no. 4, pp. 471-486, doi:10.35885/1684-7318-2024-4-471-486.

Lezhnev, D.V. (2023a) Stroenie sosnovykh fitocenozov v Moskovskom regione pod vlijaniem klimaticheskikh transformacij [The structure of pine phytocenoses in the Moscow region under the influence of climatic transformations], *Forest ecosystems in the context of climate change, biological productivity and remote monitoring*, no. 9, pp. 63-73, doi:10.25686/foreco.2023.10.66.007.

Lezhnev, D.V., Dubey, D., Glazunov, Yu.B., Korotkov, S.A. (2022) *Dinamika sosnovykh lesov v Serebrjanoborskom uchastkovom lesnichestve Moskovskoj oblasti* [Dynamics of pine forests in the Serebryanoborsky district forestry of the Moscow region], Issues of geology and complex study of ecosystems of East Asia, Collection of reports. electronic publication, Blagoveshchensk, October 4-7, Blagoveshchensk, Russia, pp. 217-219.

Olchev, A.V., Avilov, V.K., Baibar, A.S. et al. (2017) *Lesa Evropejskoj territorii Rossii v uslovijah menjajushhegosja klimata* [Forests of the European Territory of Russia in a Changing Climate], Moscow, Russia: Limited Liability Company Scientific Publications Partnership KMK, 276 p, ISBN 978-5-9909884-1-5.

Merzlenko, M.D., Glazunov, Yu.B., Lvov, Yu.G., Perevalova, E.A. (2018) *Dinamika rosta sosny v starovozrastnykh drevostojah slozhnogo bora* [Dynamics of Pine Growth in Old-Growth Stands of Complex Forest], *News of Higher Educational Institutions, Forest Journal*, no. 4 (364), p. 31-39, doi:10.17238/issn0536-1036.2018.4.31.

Pukinskaya, M.Yu. (2021) Smena porod v nemoral'nykh el'nikakh Central'no-lesnogo zapovednika [Replacement of species in nemoral spruce forests of the Central Forest Reserve], *Povolzhskiy Journal of Ecology*, no. 4, pp. 459-476.

Rybakova, N.A., Glazunov, Yu.B. (2023) *Dinamika radial'nykh prirostov listvennicy evropejskoj (Larix decidua Mill.) v uslovijah antropogennoj nagruzki* [Dynamics of radial increments of European larch (Larix decidua Mill.) under anthropogenic load], *Forestry Bulletin*, no. 4, pp. 5-13, doi:10.18698/2542-1468-2023-4-5-13.

Terinov, N.N., Andreeva, E.M., Zalesov, S.V. et al. (2020) *Vosstanovlenie elovykh lesov: teorija, otechestvennyj opyt i metody reshenija* [Restoration of spruce forests: theory, domestic experience and solution methods. News of higher educational institutions], *Forestry journal*, no. 3 (375), pp. 9-23, doi:10.37482 / 0536-1036-2020-3-9-23.

The Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation. General Summary (2022), Saint Petersburg, Science-Intensive Technologies, Russia, 124 p.

Shatravko, V.G., Rozhkov, L.N. (1921) Osobennosti vosproizvodstva i vyrashhivaniya osnovnoj formacii Belarusi [Features of Reproduction and Cultivation of the Pine Formation of Belarus], *Proceedings of BSTU, Series 1. Forestry Nature Management and Processing of Renewable Resources*, no. 2. pp. 58-65.

Brichta, J. et al. (2023) Importance and potential of Scots pine (L.) in 21 century, *Central European Forestry Journal*, no. 1, pp. 3-20.

Clayton, C.J. et al. (2023) High Resolution Simulations of European Air Quality in 2050 Following Different CMIP6 Climate Change Mitigation Pathways, *Copernicus Meetings*, no. EGU23-4217.

Durrant, T.H., De Rigo, D., Caudullo, G. (2016) Pinus sylvestris in Europe, distribution, habitat, usage and threats, *European atlas of forest tree species*, pp. 845-846.

Korotkov, S., Stonozenko, L., Lezhnev, D., Eregina, S. (2023) Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region, *II International Conference "Sustainable Development: Agriculture. Veterinary Medicine and Ecology"* (VMAEE-II-2023), vol. 3011, New York, USA, AIP Publishing, p. 20031, doi:10.1063/5.0161107.

Larsén, X.G. et al. (2023) The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6, *Wind Energy Science Discussions*, pp. 1-25.

Lebedev, A.V. (2022) Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862, *Journal of Forestry Research*, pp. 34-36.

Lezhnev, D., Korotkov, S., Stonozenko, L., Popova, A. (1924) The growing dynamic of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the Moscow Region, *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, vol. 3184, no. 1, p. 20045.

Mason, W.L., Alía, R. (2000) Current and future status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Europe, *Forest Systems*, pp. 317-335.

Prietzl, J. et al. (2020) Half a century of Scots pine forest ecosystem monitoring reveals long-term effects of atmospheric deposition and climate change, *Global Change Biology*, no. 10, pp. 5796-5815.

Статья поступила в редакцию (Received): 03.03.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2025.

Для цитирования / For citation:

Лежнев, Д.В., Коротков, С.А. (2025) Неморализация сосновых лесов города Москвы в условиях изменения климата, *Экологический мониторинг и*

моделирование экосистем, т. XXXVI, № 1-2, с. 10-31. doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-10-31.

Lezhnev, D.V., Korotkov, S.A. (2025) Nemoralization of Moscow's Scots pine forests in the context of climate change, *Ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XXXVI, no. 1-2, pp. 10-31, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-10-31.

Газогеохимическое исследование выбросов свалочного газа в верхних слоях полигона ТКО

А.В. Забелина, П.Ф. Агаханянц, О.И. Сергиенко, Н.С. Богданов*

Университет ИТМО,
РФ, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, литер А

Адрес для переписки: *zabelina-eco@yandex.com*

Реферат. Рассматриваются результаты газогеохимического исследования свалочного газа в верхних слоях полигона твердых коммунальных отходов (ТКО), находящегося на этапе, близком к постэксплуатационному. Полигоны ТКО являются неорганизованными источниками свалочного газа, выбросы которых учитываются в зависимости от массы размещаемых отходов, за исключением двух последних лет, на основе известного расчетного метода. Традиционно выбросы свалочного газа контролируются по концентрациям в приземном слое атмосферного воздуха над полигоном ТКО. Однако выполненные исследования показали, что свалочные массы, размещенные в течение последних одного-двух лет, могут обладать способностью вырабатывать и накапливать свалочный газ, содержащий основные парниковые газы: метан и диоксид углерода. Приводятся результаты измерений объемной доли метана и диоксида углерода, а также определения корреляции между ними. При систематическом проведении газогеохимических исследований и увеличении набора данных возможно построение более точных статистических моделей и получение прогнозных оценок в зависимости от периода размещения отходов.

Сделан вывод о необходимости проведения ежегодного газогеохимического обследования полигонов ТКО мощностью выбросов более 50 тыс. т CO₂-экв. для уточнения расчетов выбросов парниковых газов.

Ключевые слова. Полигон ТКО, отходы, выбросы, парниковые газы, метан, диоксид углерода, газогеохимическое обследование.

Gas-geochemical survey of landfill gas emissions in the upper layers of the MSW landfill

A.V. Zabelina, P.F. Agahanyants, O.I. Sergienko, N.S. Bogdanov*

ITMO University,
49, Lit A, Kronverksky Prospekt, 197101, St. Petersburg, Russian Federation

Correspondence address: *zabelina-eco@yandex.com*

Abstract. The results of the gas-geochemical study of the upper layers of the disposed municipal solid waste landfill (MSW) at a stage close to the post-

operational stage are considered. MSW landfills are unorganized sources of landfill gas, whose emissions are accounted for depending on the mass of disposed waste, with the exception of the last two years of disposal, based on a known calculation method. Traditionally, landfill gas emissions are controlled by concentrations in the surface layer of the atmospheric layer above the landfill. However, the studies performed have shown that landfill sites located over the past one or two years may have the ability to produce and accumulate landfill gas containing the main greenhouse gases: methane and carbon dioxide. The results of measurements of volume shares of methane and carbon dioxide, as well as determination of correlation between them are given. With systematic gas-geochemical studies and an increasing data set it is possible to build more accurate statistical models and obtain predictive estimates depending on the period of waste disposal.

It is concluded that it is necessary to conduct an annual gas-geochemical survey of MSW landfills with an emission capacity of more than 50 thousand tons of CO₂-eq. to clarify calculations of greenhouse gas emissions.

Keywords. MSW landfill, emissions, greenhouse gases, methane, carbon dioxide.

Введение

В теле полигонов ТКО под действием микроорганизмов образуется свалочный газ – разновидность биогаза. Как правило, свалочный газ представляет собой не постоянную по составу смесь метана, углекислого газа, кислорода, азота, водорода, водяного пара, кроме того, в нем могут содержаться десятки соединений в следовых количествах. К парниковым газам в составе СГ относятся метан, углекислый газ, неметановые летучие органические соединения (НЛОС), закись азота (Приходько и др., 2018).

Метан (CH₄) – остаточный газ в атмосфере, который, наряду с диоксидом углерода (CO₂) играет важную роль в формировании парникового эффекта Земли. Современная средняя концентрация метана (0.1866% объемных) выше, чем достигалась за последние 800 тыс. лет¹). Метан – второй по доле и скорости роста парниковый газ после углекислого газа, его потенциал глобального потепления оценивается в 28-34 в 100-летней перспективе²).

Одним из основных источников образования метана является анаэробное разложение органических компонентов отходов на полигонах ТКО (Бажин, 2010).

На сегодняшний день проводится достаточно большое количество исследований антропогенных источников образования парниковых газов, однако их относительный вклад в глобальный баланс метана и диоксида углерода демонстрируют неопределенность в выявлении и количественной

¹) Climate Change 2023, Synthesis report, его потенциал глобального потепления оценивается в 28-34 в 100-летней перспективе [IPCC AR5 Fifth Assessment Report / IPPC], URL: <http://www.climatechange2013.org>

²) IPCC AR5 Fifth Assessment Report / IPPC. URL: <http://www.climatechange2013.org/>

оценке выбросов парниковых газов. Сложность также представляет прогнозирование будущих выбросов метана и диоксида углерода, которая обусловлена отсутствием достаточной нормативно-правовой и методической базы для работы с источниками выделения и поглощения парниковых газов в ряде стран, которые имеют такие источники.

Показано, что метан, как и диоксид углерода, являются важными элементами глобального углеродного цикла (Heilig, 1994). Благодаря химической реакции окисления метан при участии солнечного света способен доокисляться до оксида углерода (CO) и диоксида углерода (CO₂) с поглощением гидроксильной группы (ОН).

Важность использования биогазового потенциала полигонов ТКО для получения энергии, с одной стороны, и снижения выбросов парниковых газов, с другой стороны, отмечают многие зарубежные (Munawar и др., 2019), (Lair et al., 2024) и отечественные исследователи (Верещак, Тихонова, 2022).

Измерение состава и интенсивности потока свалочного газа проводится в рамках газогеохимических обследований. Такой тип исследований широко применяется при проведении геологоразведки с целью поиска углеводородов и других газообразных веществ. В СССР подобные исследования также проводились с целью поиска месторождений нефти и природного газа (Zheng et al., 2022). Также газогеохимические обследования проводятся с целью выявить наиболее пожароопасные зоны в теле полигона ТКО или в поверхностном слое тела полигона ТКО для высоконагружаемых полигонов высотой более 20-ти метров с длительным периодом эксплуатации (более 15-ти лет) (Чусов и др., 2015).

Ряд российских исследователей показал возможность применения газогеохимического обследования на полигонах ТКО для изучения распределения состава свалочного газа, оценки энергетического потенциала и последующего выбора оптимального и эффективного решения для дегазации. В частности, в работе Масликова И.В., А.Н. Чусова и др. (2015) обосновывается использование газогеохимии с целью последующего районирования поверхности тела полигона ТКО по степени наличия метана в составе свалочного газа на глубине отбора для воспроизводства электрической и тепловой энергии. Исследования проводились для выявления перспективных участков для создания газосборной системы. Также газогеохимические обследования применялись на этапе эксплуатации полигона, близком к завершающему, в составе комплексных изысканий для разработки проекта рекультивации (Масликов и др., 2012).

На каждом объекте размещения соотношение выбросов метана и диоксида углерода может отличаться в зависимости от срока эксплуатации полигонов, состава отходов, технологии размещения, климатических параметров и активности окислительных процессов при участии микроорганизмов.

Понимание распределения эмиссий метана и его принудительная откачка с утилизацией и одновременной закачкой в тело полигона очищенного фильтрата позволят сократить время технического этапа рекультивации, за счет ускорения процессов биоразложения органической фракции отходов (Балакин и др., 2017).

Важность постэксплуатационного этапа жизненного цикла полигона захоронения отходов отмечается в работах Слюсарь Н.Н., поскольку обслуживание объектов размещения после их вывода из эксплуатации требует выбора технологических и организационных мероприятий для оценивания продолжительности эмиссии свалочного газа и минимизации накопленного экологического ущерба (Слюсарь, 2019). Зонирование газопродуктивных участков полигона важно и для целей противопожарной безопасности, в том числе при проведении рекультивационных работ (Слюсарь, 2013).

В соответствии с требованиями законодательства, концентрации компонентов свалочного газа в приземном слое атмосферного воздуха над полигоном ТКО контролируются ежеквартально с целью проверки соответствия концентраций нормируемых компонентов ПДК³⁾. Размещение постов наблюдения предполагает наличие одной точки контроля на теле полигона ТКО, на границе земельного участка, на котором расположен полигон и на границе санитарно-защитной зоны с преобладающим направлением ветра в течение года. Перечень анализируемых компонентов установлен действующей нормативной документацией и включает: метан, аммиак, дигидросульфид, окись углерода, бензол, трихлорметан, четыреххлористый углерод, хлорбензол. Количество постов наблюдения и перечень параметров могут быть расширены для полигонов ТКО по результатам прохождения Государственной экологической экспертизы.

В соответствии с утвержденной Методикой расчета выбросов от объектов размещения отходов (далее – Методика), годовые валовые выбросы от полигонов ТКО определяются только расчетным методом без проведения инструментальных исследований. Полигоны ТКО относятся преимущественно к объектам первой категории негативного воздействия, для которых в обязательном порядке разрабатывается комплексное экологическое разрешение (далее – КЭР). Разработка КЭР для полигонов ТКО предполагает только расчетные метод определения нормативов выбросов от секций складирования отходов⁴⁾. В соответствии с п. 2 Методики, расчет выбросов свалочного газа делается на основании общего количества отходов, размещенных за весь период эксплуатации объекта, за исключением отходов, завезенных в последние два года приема⁵⁾.

³⁾ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 3 “Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 “Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий”. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177>

⁴⁾ Приказ Минприроды России от 22.10.2021 г. № 780 “Об утверждении формы заявки на получение комплексного экологического разрешения и формы комплексного экологического разрешения”. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=487138>

⁵⁾ Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. М.: НПП “Экопром” АКХ им. К.Д. Памфилова, 2004. - 21 с.

Данное положение может привести к искажению фактических выбросов для высоконагружаемых полигонов, поскольку отходы, захороненные 15-20 лет назад от начала эксплуатации полигона, находящиеся в основании тела полигона в анаэробной зоне с высокой плотностью 1.09 т/м³ свалочных масс⁶⁾, не способны к дальнейшему генерированию свалочного газа в тех же объемах, которые соответствуют расчетным показателям для заданного количества отходов.

Применение только расчетного метода на основе утвержденной Методики расчета количественных характеристик выбросов от полигонов приводит к завышению платы за НВОС, отвлекает финансовые ресурсы от инвестирования в проекты, направленные на внедрение наилучших доступных технологий (ИТС НДТ 17-2021, 2021; ИТС НДТ 22.1-2021б, 2021), включая внедрение систем автоматического контроля (САК) выбросов полигонов ТКО.

Федеральным законом № 296-ФЗ “Об ограничении выбросов парниковых газов”⁷⁾ и Приказом МПР № 371 “Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов”⁸⁾, которые устанавливают требования вести учет и формировать отчетность о парниковых газах по всем объектам в организации, если суммарный объем парниковых газов составляет более 5% от количества всех выбросов организации и/или не менее 50 000 тонн CO₂-эквивалента в год. Таким образом, первичной проблемой, связанной с управлением парниковыми газами на предприятии, становится подготовка обоснования о необходимости или отсутствии необходимости выполнения расчетов образования парниковых газов.

В России, несмотря на относительное снижение численности населения за последние двадцать лет, отмечается рост количества отходов, размещаемых на полигонах ТКО, что связано с увеличением темпов и объемов потребления товаров и услуг (Говор, 2017). В настоящее время около 200 объектов размещения отходов находятся в стадии, близкой к завершению эксплуатации⁹⁾. Очевидно, что в качестве эффективной меры увеличения вместимости полигонов ТКО и продления срока их эксплуатации, а также снижения выбросов парниковых газов может служить активная дегазация с обезвреживанием свалочного газа путем факельного сжигания или утилизации путем сжигания с целью воспроизводства энергии.

6) Отчет о выполненных работах по определению объемно-плотностных характеристик полигона твердых бытовых и строительных отходов. СПб: ООО “БЕРГ-проект”, 2024. - 63 с.

7) Федеральный закон “Об ограничении выбросов парниковых газов” от 02.07.2021 г. № 296-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388992/?ysclid=m81i2wbr1137246924

8) Приказ Минприроды России от 27.05.2022 г. № 371 “Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов”. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_423207/21f18637d63cb2c6cb6e7ebeaef62bf1-4815739a/

9) Экология. Национальный проект “Экология”. Архив 2019-24 года. URL: <https://национальныепроекты.рф/projects/ekologiya/>

Данные мониторинга парниковых газов в теле полигона ТКО и на его поверхности могут быть использованы как для оценки выбросов непосредственно от сектора захоронения отходов в Российской Федерации на региональном и федеральном уровнях, так и в рамках отчетности по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата¹⁰⁾. Следует также отметить, что результаты комплексной качественной и количественной оценки парниковых газов в теле полигона ТКО могут служить исходными данными и основанием для планирования и реализации климатических проектов, зарегистрированных в Реестре углеродных единиц Российской Федерации. По состоянию на февраль 2025 года в Реестре углеродных единиц зарегистрировано 50 климатических проектов, однако проекты, связанные с активной дегазацией на полигонах ТКО отсутствуют¹¹⁾.

Целью исследования является анализ и обсуждение результатов газогеохимического исследования объемных долей метана и диоксида углерода в свалочном газе в верхних слоях полигона ТКО.

Методы и материалы

Исследования проводились в поверхностном слое свалочных масс высоконагружаемого полигона ТКО, расположенного в Северо-западном регионе Российской Федерации. Объект размещения отходов характеризуется высокой нагруженностью и стадией эксплуатации, близкой к завершению. Основной вид отходов, размещаемых на полигоне – сортированные и несортированные ТКО. Исследования содержания объемной доли метана и диоксида углерода проводились на участках размещения несортированных ТКО. Площадь исследуемой карты полигона составила 5.7 га. Усредненный состав отходов на полигоне ТКО, по данным морфологических исследований за 2024 год, представлен в табл. 1.

Газогеохимическое обследование территории полигона ТКО проводилось аккредитованной лабораторией методом поверхностной шпуровой съемки, отработанной и действующей карт полигона с установкой постов наблюдения, отбором проб воздуха из шпуров портативным электрохимическим газоанализатором марки Geotech GA5000 и последующим определением объемной доли компонентов метана и диоксида углерода.

Фиксация координат точек пробоотбора на местности осуществлялась при помощи GPS-навигатора, далее выполнялась оценка условий измерений и препятствующих факторов: экстремальных температур, осадков, радиопомех, источников ионизирующего излучения.

Исследования проводились в 23 точках отбора проб (рис. 1) при следующих метеорологических параметрах: температура атмосферного воздуха 24.5°C, направление ветра – восточный, скорость ветра 1 м/с, атмосферное давление 766 мм рт. ст., относительная влажность воздуха 38%.

¹⁰⁾ Парижское соглашение. Организация Объединенных Наций. 2015. - 32 с.

¹¹⁾ Реестр углеродных единиц. URL: <https://carbonreg.ru/ru/projects/>

Таблица 1. Усредненный состав отходов, размещаемых на полигоне ТКО в 2024 г., %

Table 1. Average waste composition at the landfill in 2024, %

Наименование компонента	Морфологический состав, %
Пищевые и растительные остатки	24.50
Древесная фракция	1.35
Макулатура (бумага и картон)	17.73
Отсев ≤ 8 мм (с преимущественным содержанием кремния диоксида)	23.95
Полимеры в смеси	16.65
Металлы	1.90
Многокомпонентная тара и упаковка	4.30
Стеклобой	3.41
Текстиль, кожа	2.21
Прочее	4.00
Итого	100

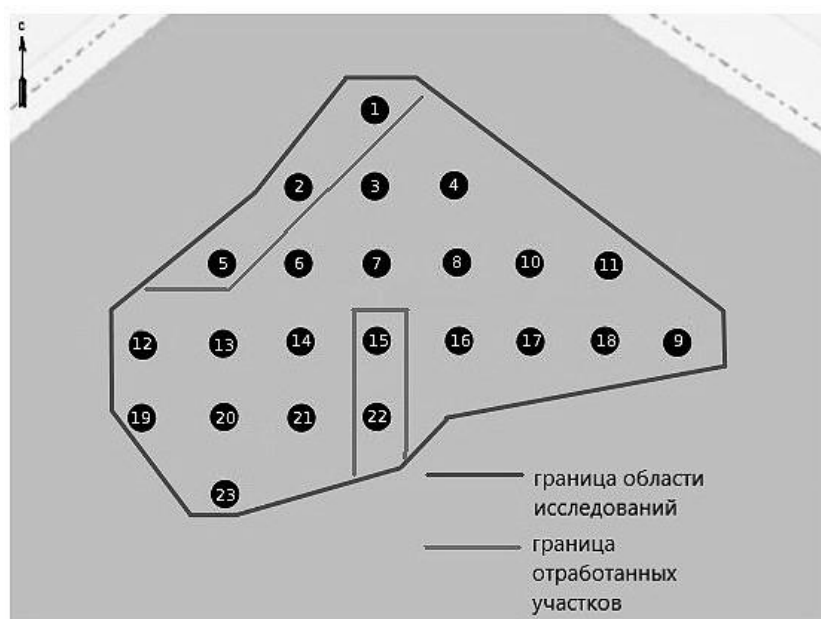


Рисунок 1. Схема расположения точек газогеохимического исследования

Figure 1. Layout of gas geochemical survey points

Забивка шпуров осуществлялась на глубину 0.8 м, что соответствует глубине последнего года размещения отходов для отработанной карты полигона. Точки 1, 2, 5, 15, 22 находятся на изолированной отработанной карте, остальные точки – на открытой рабочей карте полигона. Система дегазации отсутствует.

Результаты и дискуссия

По результатам газогеохимического исследования свалочного газа в слое отходов на глубине до 0.8 м от поверхности тела полигона было выявлено наличие метана с объемной долей от 0 до 61% и углерода диоксида с объемной долей от 0 до 11.81% (рис. 2).

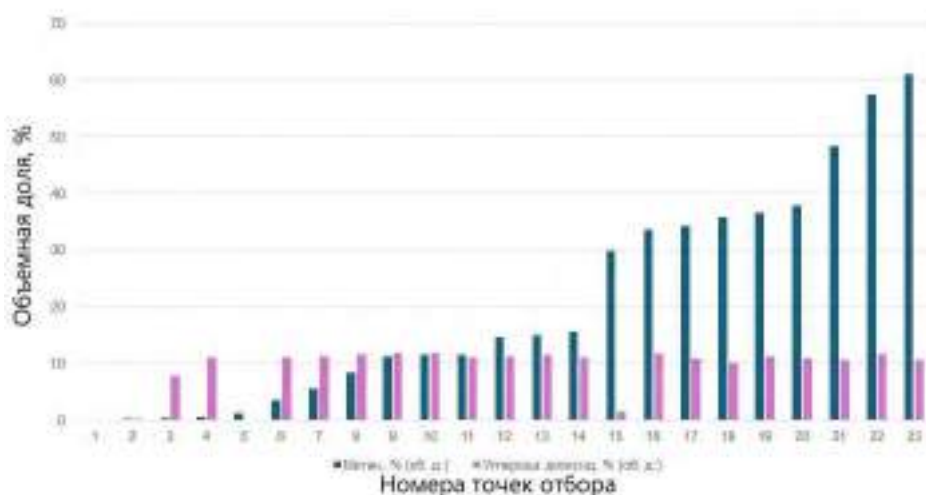


Рисунок 2. Ранжированные результаты замеров концентраций метана и диоксида углерода при газогеохимическом исследовании полигона ТКО

Figure 2. Ranked results of methane and carbon dioxide concentrations measured during the gas geochemical study of the landfill

Наиболее низкие концентрации метана отмечались в точках, расположенных в северо-западной части объекта и ближе к краям пробоотборной площадки. Связи между концентрацией метана и тем, действует ли карта или является изолированной, не выявлено.

Содержание диоксида углерода практически постоянно на уровне 10-12% от объема свалочного газа за исключением точек 1, 2, 5, 15, 22, которые находятся на отработанной карте.

Результаты газогеохимического исследования полигона были аппроксимированы с помощью сплайн-интерполяции после соответствующей очистки данных¹²⁾. Для сглаживания был применен метод сплайновой интерполяции, реализованный с помощью платформы Матлаб¹³⁾. Визуализация результатов была осуществлена с помощью метода построения тепловой карты (рис. 3).

¹²⁾ Оптимальная аппроксимация сплайнами. Электронный ресурс. URL: <https://habr.com/ru/articles/314218/> (дата обращения 24.03.2025)

¹³⁾ Spline Interpolation with Specified Endpoint Slopes. Электронный ресурс. URL: <https://nl.mathworks.com/help/matlab/ref/spline.html?requestedDomain=> (дата обращения 24.03.2025).

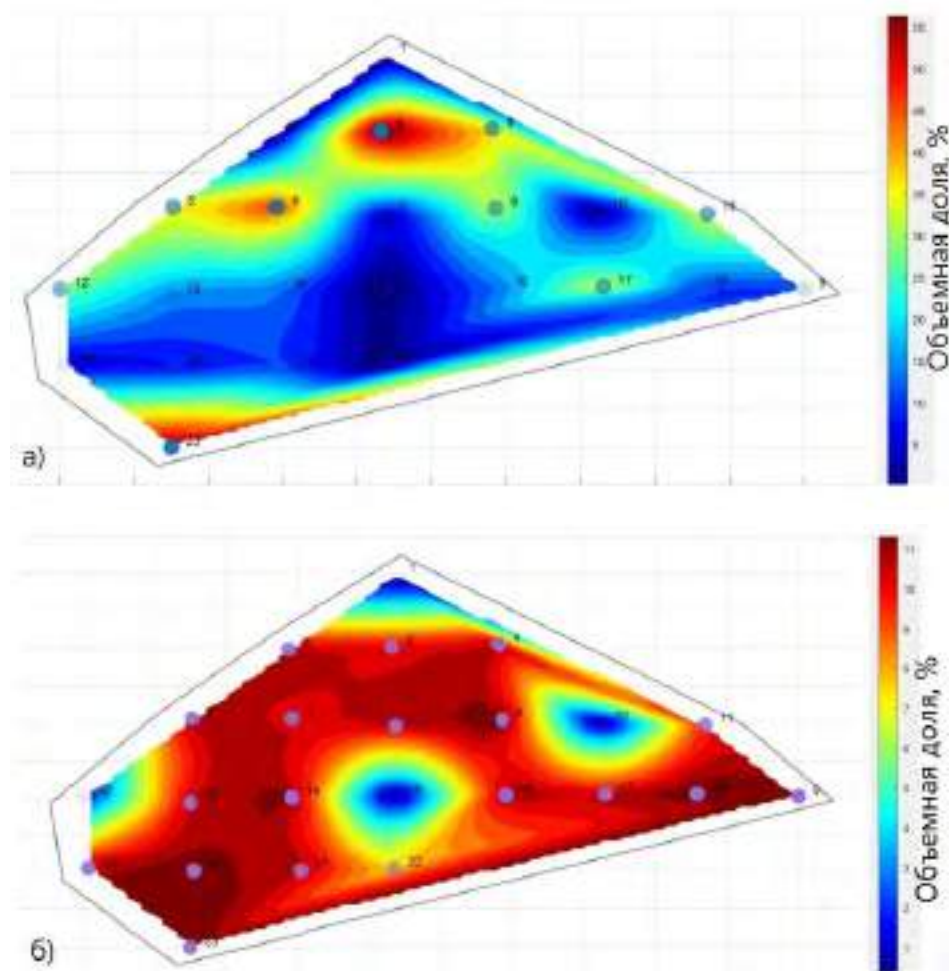


Рисунок 3. Изменение объемных долей метана (а) и диоксида углерода (б) в зоне исследования на полигоне ТКО

Figure 3. Changes in the volume shares of methane (a) and carbon dioxide (b) in the study area at the landfill

Однородность распределения CO_2 может быть связана с высокой растворимостью углекислого газа в воде, в то время как на исследуемом полигоне отходы обладают высокой влажностью и образуется много фильтрата. Вариабельность концентраций метана можно объяснить его низкой относительной плотностью по сравнению с воздухом. При наличии трещин в массе отходов концентрации метана падают, так как он поднимается вверх и перемешивается с воздухом; при отсутствии трещин концентрации метана достигают высоких значений.

График на рис. 4 демонстрирует взаимосвязь между содержанием метана и углекислого газа.

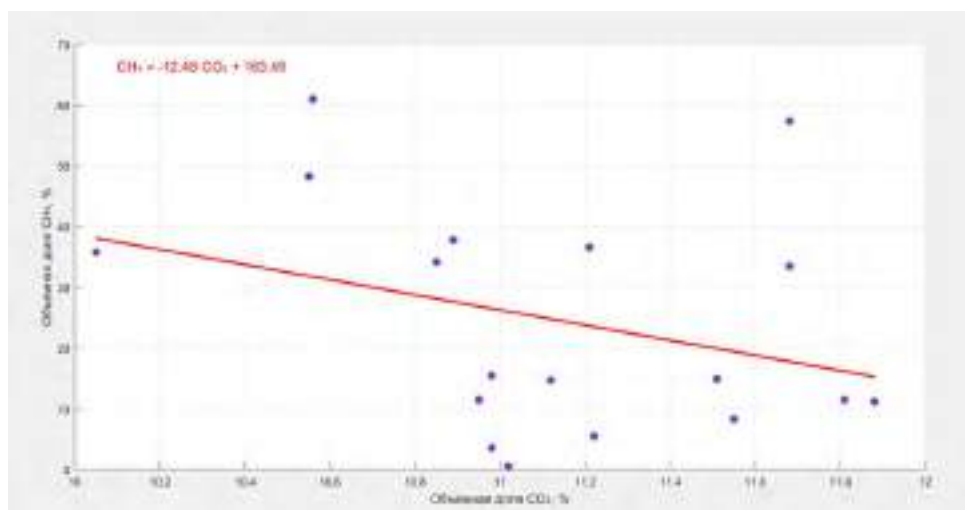


Рисунок 4. Корреляция между объемными долями метана и диоксида углерода

Figure 4. Correlation between volume shares of methane and carbon dioxide

При допущении линейной регрессии, коэффициент корреляции равен $r = -0.32$, т.е. связь можно рассматривать, как слабую отрицательную. Физически данная закономерность может быть объяснена условиями в верхнем слое тела полигона. Как углекислый газ, так и метан являются продуктами разложения органического вещества в составе ТКО. В более аэрируемых условиях формируется меньше метана, который частично доокисляется до угарного газа или углекислого газа, а в анаэробных условиях формируется больше метана. Тление отходов в теле полигона можно исключить, поскольку в этом случае концентрация углекислого газа не демонстрировала бы постоянство.

Выполненные исследования подтверждают достаточно высокие концентрации метана в верхних слоях полигона ТКО, которые варьируют в среднем от 50% об. до максимального 61% об. Однако область применения результатов проведенных газогеохимических исследований не ограничивается только определением участков с высоким метанообразованием, что важно для оценки биогазового потенциала и разработки климатических проектов на полигонах ТКО, но может быть расширена с учетом необходимости оценки валовых выбросов метана за последние годы размещения отходов на полигонах, находящихся на этапах эксплуатации, близких к завершению. Целесообразно проводить газогеохимическую оценку выбросов метана и диоксида углерода как основных компонентов свалочного газа также и на этапе рекультивации с целью обоснования срока ее завершения.

При систематическом проведении газогеохимических исследований и увеличении диапазона наблюдаемых данных построение регрессии позволит точнее моделировать взаимосвязи между метаном и диоксидом углерода в составе свалочного газа и оценивать углеродный след полигона и его биогазовый потенциал. При увеличении наблюдений появится возможность построе-

ния более точных статистических моделей и обучение моделей машинного обучения.

Заключение

При разложении свалочных масс в теле полигона протекают процессы образования метана и диоксида углерода. В верхнем слое свалочных масс на высоконагружаемом полигоне наблюдалась постоянная концентрация углекислого газа на уровне 10-12% объемных (за исключением изолированных участков полигона, где концентрация CO_2 резко падает), в то время как концентрация метана варьировала значительно, от 0 до 61% объемных. Между концентрациями углекислого газа и метана имеется слабая отрицательная корреляция, которую можно объяснить окислительными условиями в верхних слоях тела полигона.

Проведение газогеохимического обследования полигонов ТКО на этапах, близких к постэксплуатационному и на этапе рекультивации, необходимо для определения мест наибольших концентраций метана, с целью максимально эффективной дегазации объекта размещения, а также возможности использования метана для выработки энергии в рамках реализации климатического проекта.

Для полигонов мощностью выбросов более 50 тыс. т CO_2 -эквивалента целесообразно проводить газогеохимические исследования ежегодно для уточнения расчетов выбросов парниковых газов, что позволит оценить валовые выбросы метана за последние годы размещения отходов на полигонах и обоснованно рассчитать плату за негативное воздействие на окружающую среду.

Список литературы

Бажин, Н.М. (2010) *Метан в окружающей среде: анализ. обзор*, Учреждение Рос. акад. Наук, Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отделения РАН, вып. 93, Новосибирск, ГПНТБ СО РАН, 56 с.

Балакин, В.А., Труфманова, Е.В., Старых, Ю.Ю. (2017) Газогеохимические исследования для целей рекультивации полигонов, *Твердые бытовые отходы*, № 5, с. 22-25.

Верещак, Е.В., Тихонова, И.О. (2022) Оценка возможности снижения выбросов парниковых газов от отходов, размещаемых на полигоне ТКО, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXIII, № 1-2, с. 38-48.

Говор, И.Л. (2017) Мониторинг выбросов парниковых газов в результате обращения с отходами и стоками на территории Российской Федерации, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXVIII, № 1, с. 18-40.

Масликов, В.И., Чусов, А.Н., Молодцов, Д.В., Рыжакова, М.Г. (2012) Зональное определение эмиссий биогаза на полигоне ТБО для оценки геоэко-

логического состояния и обоснования управления процессами разложения отходов при рекультивации, *Научно-технические ведомости СПбГУ. Наука и образование*, № 1-2, с. 260-265.

Приходько В.Ю., Сафранов, Т.А., Шанина, Т.П. (2018) Определение эмиссии парниковых газов из мест захоронения твердых бытовых отходов, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXIX, № 1, с. 32-47.

Чусов, А.Н., Масликов, В.И., Молодцов Д.В., Жажков, В.В., Рябухин, О.А. (2015) Оценка зонального распределения метана на полигонах ТБО северных регионов для его использования местной энергетикой, *Инженерно-строительный журнал*, № 6, с. 44-55.

Слюсарь, Н.Н. (2019) *Теория, методы и технологии обеспечения геоэкологической безопасности полигонов захоронения твердых коммунальных отходов на постэксплуатационном этапе*, Автореферат дисс. д-ра техн. наук, Пермь, ПНИПУ, 32 с.

Слюсарь, Н.Н. (2013) Развитие системы строительства и эксплуатации объектов захоронения ТБО, *Экология и промышленность России*, 10, с. 31-36.

ИТС НДТ 17-2021 (2021) *Размещение отходов производства и потребления*, М., Стандартинформ, 171 с.

ИТС НДТ 22.1-2021 (2021) *Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения*, М., Стандартинформ, 172 с.

Heilig, G.H. (1994) The Greenhouse Gas Methane (CH₄): Sources and Sinks, the Impact of Population Growth, Possible Interventions, *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 16, no. 2, bd. 27, pp. 109-137.

Munawarl, E., Emalyal, N., Puspa, Hayatil A., Yunardil, Hakim L. (2019) Analysis of the potential of landfill gas as an alternative for electrical energy source, *MATEC Web of Conferences*, vol. 268, 06004, pp 1-6.

Lair, A., Mansuy, M., Romand, C., Oberti, O. (2024) Enhancing landfill efficiency to drive greenhouse gas reduction: A comprehensive study on best practices and policy recommendations, *Waste Management & Research*, vol. 42 (10), pp. 889-900.

Zheng, G., Martinelli, G., Wang, Y. et al. (2022) Notes for a History of Gas Geochemistry, *Journal of Earth Science*, vol. 33 (6), pp. 1614-1623.

References

Bazhin, N.M. (2010) Metan v okruzhayushchey srede: analiticheskiy obzor [Methane in the environment: analytical review], *Uchrezhdeniye Rossiyskoy akademii nauk GPNTB SO RAN* [Institution of the Russian Academy of Sciences State Public Scientific and Technical Library of the Siberian Branch of the Russian

Academy of Sciences], issue 93, State Public Scientific and Technical Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, 56 p.

Balakin, V.A., Trufmanova, E.V., Starykh, Yu.Yu. (2017) Gazogeo-khimicheskiye issledovaniya dlya tseley rekul'tivatsii poligonov [Gas geochemical studies for the purposes of landfill reclamation], *Tverdyye bytovyye otkhody* [Municipal Solid Waste], no. 5, pp. 22-25.

Vereshchak, E.V., Tikhonova, I.O. (2022) Otsenka vozmozhnostey snizheniya vybrosov parnikovykh gazov iz otkhodov, razmeshchayemykh na poligonakh TKO [Assessment of the possibility of reducing greenhouse gas emissions from waste placed at a solid municipal waste landfill], *Ekologicheskii monitoring i modelirovaniye ekosistem*, vol. XXXIII, no. 1-2, pp. 38-48.

Govor, I.L. (2017) Monitoring vybrosov parnikovykh gazov v rezul'tate obrashcheniya s otkhodami i stokami na territorii Rossiyskoy Federatsii [Monitoring of greenhouse gas emissions from waste and wastewater management in the Russian Federation], *Problemy ekologicheskogo Diptikha i modelirovaniya ekosistem*, vol. XXVIII, no. 1, pp. 18-40.

Maslikov, V.I., Chusov, A.N., Molodtsov, D.V., Ryzhakova, M.G. (2012) Zonal'noye opredeleniye vklyucheniya biogaza na poligone TBO dlya otsenki geoekologicheskogo sostoyaniya i obosnovaniya upravleniya protsessami razlozheniya otkhodov pri rekul'tivatsii [Zonal determination of biogas emissions at a solid waste landfill to assess the geoecological state and justify the management of waste decomposition processes during reclamation], *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGU. Nauka i obrazovaniye* [Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State University. Science and Education], no. 1-2, pp. 260-265.

Prikhodko V.Yu., Safranov, T.A., Shanina, T.P. (2018) Opredeleniye vybrosov parnikovykh gazov s poligonov tverdykh kommunal'nykh otkhodov [Determination of greenhouse gas emissions from solid municipal waste disposal sites], *Problemy monitoringa okruzhayushchey sredy i modelirovaniya ekosistem*, vol. XXIX, no. 1, pp. 32-47.

Chusov, A.N., Maslikov, V.I., Molodtsov, D.V., Zhazhkov, V.V., Ryabukhin, O.A. (2015) Otsenka zonal'nogo raspredeleniya metana na poligonakh TBO severnykh regionov dlya yego ispol'zovaniya mestnoy energetikoy [Assessment of the zonal distribution of methane at solid municipal waste landfills in the northern regions for its use by local energy], *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, no. 6, pp. 44-55.

Slyusar, N.N. (2019) *Teoriya, metody i tekhnologii obespecheniya geoekologicheskoy bezopasnosti poligonov zakhoroneniya tyazhelykh kommunal'nykh otkhodov na postekspluatatsionnom etape* [Theory, methods and technologies for ensuring geoecological safety of solid municipal waste landfills at the post-operational stage], Extended abstract of Doctor's thesis, PNRPU, Perm, Russia, 32 p.

Slyusar, N.N. (2013) Razvitiye sistemy stroitel'stva i ekspluatatsii ob'yektov zakhoroneniya TBO [Development of the system of construction and operation of solid municipal waste disposal facilities], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, vol. 10, pp. 31-36.

ITS NDT 17-2021 (2021) *Razmeshcheniye otkhodov proizvodstva i potrebleniya* [Placement of production and consumption waste], Standartinform, Moscow, Russia, 171 p.

ITS NDT 22.1-2021 (2021) *Obshchiye printsipy proizvodstvenno-ekologicheskogo kontrolya i yego metrologicheskogo obespecheniya* [General principles of industrial environmental control and its metrological support], Standartinform, Moscow, Russia, 172 p.

Heilig, G.H. (1994) The Greenhouse Gas Methane (CH₄): Sources and Sinks, the Impact of Population Growth, Possible Interventions, *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies*, vol. 16, no. 2, bd. 27, pp. 109-137.

Munawarl, E., Emalyal, N., Puspa, Hayatil A., Yunardil, Hakim L. (2019) Analysis of the potential of landfill gas as an alternative for electrical energy source, *MATEC Web of Conferences*, vol. 268, 06004, pp 1-6.

Lair, A., Mansuy, M., Romand, C., Oberti, O. (2024) Enhancing landfill efficiency to drive greenhouse gas reduction: A comprehensive study on best practices and policy recommendations, *Waste Management & Research*, vol. 42 (10), pp. 889-900.

Zheng, G., Martinelli, G., Wang, Y. et al. (2022) Notes for a History of Gas Geochemistry, *Journal of Earth Science*, vol. 33 (6), pp. 1614-1623.

Статья поступила в редакцию (Received): 26.03.2022.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2021.

Для цитирования / For citation:

Забелина, А.В., Агаханянц, П.Ф., Сергиенко, О.И., Богданов, Н.С. (2025) Газогеохимическое исследование выбросов свалочного газа в верхних слоях полигона ТКО, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1-2, с. 32-45, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-32-45.

Zabelina, A.V., Agahanyants, P.F., Sergienko, O.I., Bogdanov, N.S. (2025) Gas-geochemical survey of landfill gas emissions in the upper layers of the MSW landfill, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXVI, no. 1-2, pp. 32-45, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-32-45.

Сравнение временных рядов в прикладных исследованиях: близость, синхронность и корреляция

О.В. Максимова^{1,2)}

¹⁾ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾Университет МИСИС,
Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-кт, 4

*Адрес для переписки: o-maximova@yandex.ru

Реферат. Задача сравнения временных рядов возникает во множестве прикладных исследований. Сложность такого сравнения обусловлена тем, что с течением времени вероятность, что все данные описывают первоначальный процесс, уменьшается, и некоторые краткосрочные изменения могут быть вызваны специальными причинами, которые не повторяются. В работе рассматриваются три возможные задачи, связанные со сравнением временных рядов в прикладных исследованиях: поточечная близость, синхронность изменения во времени и корреляция уровней рядов. Предложены подходы к решению каждой задачи в отдельности, и выявлены их особенности, которые необходимо учитывать при постановке задачи сравнения массивов данных во времени. Установлено и продемонстрировано: синхронно изменяющиеся временные ряды могут быть не близки поточечно и иметь слабую корреляционную связь, высокая корреляция может не обеспечивать синхронность временных рядов и давать ложные выводы о взаимосвязи показателей во времени, и т.п. Выводы, полученные при решении только одной задачи, нельзя переносить как на выводы другой, так и на связь временных рядов в целом.

Продemonстрированные в работе модельные примеры и примеры прикладных исследований дают понимание, как можно сформулировать задачу сравнения массивов данных во времени, и подойти к ее решению и интерпретации. Показано, что возможность установления наличия причинно-следственных связей временных рядов в целом зависит от качественного анализа содержания рассматриваемых процессов.

Ключевые слова. Временной ряд, корреляция временных рядов, коэффициент синхронности, ложные корреляции, климат, приросты сосны.

Comparison of time series in applied research: proximity, synchronism and correlation

O.V. Maksimova^{1, 2)}

¹⁾Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

Abstract. The problem of comparing time series arises in many applied studies. The complexity of such a comparison is due to the fact that over time the probability that all data describe the initial process decreases, and some short-term changes can be caused by special causes that do not repeat. The paper considers three possible problems associated with comparing time series in applied studies: point-by-point proximity, synchronicity of change over time, and correlation of series levels. Approaches to solving each problem separately are proposed, and their features are identified that must be taken into account are identified while comparing data arrays over time. It has been established and demonstrated that synchronously changing time series may not be close point-by-point and have a weak correlation; high correlation cannot ensure synchronicity of time series and give false conclusions about the relationship of indicators over time, etc. Conclusions obtained when solving only one problem cannot be transferred either to the conclusions of another, or to the relationship of time series as a whole. The model examples and applied research examples demonstrated in the work provide an understanding of how the problem of comparing data arrays over time can be formulated and how to approach its solution and interpretation. It is shown that the possibility of establishing the presence of cause-and-effect relationships in time series as a whole depends on a qualitative analysis of the content of the processes under consideration.

Keywords. Time series, time series correlation, synchronicity coefficient, spurious correlations, climate, pine growths.

*В сущности, все модели неверны,
но некоторые из них полезны*

Box G.

Введение

Очень часто при анализе процессов приходится сталкиваться с данными, измеренными во времени (временной ряд). Такие данные можно встретить при наблюдениях за природными процессами и явлениями, производственными и экономическими процессами, и, конечно, при наблюдениях за динамикой различных медицинских показателей состояния здоровья человека. Принципиальной характеристикой таких данных является факт, что номер наблюдения (т.е. время) имеет значение: важны не только сами показатели, но и момент времени, соответствующий их измерению. Сложность анализа и прогноза множится за счет следующих причин:

— чем дальше мы смотрим назад во времени, тем меньше вероятность, что все данные описывают один и тот же первоначальный процесс;

– некоторые краткосрочные изменения могут быть вызваны специальными причинами, которые не повторяются и, как отмечал в своей книге Николас Талеб, наоборот, способствуют пониманию процесса (Taleb, 2001).

При сравнении же двух наборов временных данных исследователь, как правило, начинает с подсчета коэффициента корреляции. Если коэффициент принимает высокие абсолютные значения, то можно выдвинуть гипотезу о причинно-следственной связи при отсутствии оснований считать эту связь заведомо ложной. Однако если коэффициент корреляции невысок и при этом есть основания для поиска причинно-следственной связи изменчивости показателей во времени, исследование можно продолжить, выходя за рамки простого расчета коэффициента корреляции. Тогда возникают смежные задачи, которые могут решаться как по-отдельности, так и одновременно. *Первая задача* – изучить попарную близость массивов данных во времени. Важно при этом, чтобы имелись одинаковые единицы измерения данных, формирующих временные ряды. Примером такой задачи в биологии может служить сравнение динамик приростов сосны в разных местообитаниях (Максимова, Кухта, 2024), в климатологии – подбор модели, наиболее точно воспроизводящей региональный климат (Максимова, Гинзбург, 2020; Шерстюков, 2011; Лбов, Герасимов, 2010), в экономических исследованиях – анализ близости обменных курсов валют за несколько лет (Бурнаев, Оленев, 2006), и т.п. *Вторая задача* – изучить синхронность изменения массивов данных во времени. Такая задача может возникать, когда нас интересуют не величины массивов показателей, а направленность их изменений за один или несколько временных периодов. Сходство синхронности показателей исследуется в биологических задачах, например, для параметров состояния крон деревьев (Феклистов и др., 2020; Кухта и др., 2024; Шерстнева и др., 2024), в экологии – при оценке изменений различных загрязняющих веществ в каких-либо средах (Асфандиярова и др., 2013; Розенталь, Шпер, 2023), в изучении изменений климата – при сравнении трендов приземной температуры воздуха различных климатических моделей (Израэль и др., 2006; Бардин и др., 2020; Максимова, Кухта, 2022а), в экономических исследованиях – при анализе динамики сезонности цен на различные товары, ВВП и налоговые сборы (Сушко, 2017; Шрамко, 2012), в музыке – при изучении схожести вокальных исполнений (Катаева, Якимук, 2019), и т.д. Актуальность такой постановки возрастает при сравнении массивов с разноименными единицами измерений. *Третья задача* – определить взаимосвязь самих наборов показателей. В таком контексте задача сравнения рядов наиболее привлекательна для исследователя, поскольку высокие значения коэффициента корреляции могут дать возможность численному прогнозу показателей одного признака по соответствующим значениям другого. Поэтому корреляционный анализ широко применяется в самых различных областях (Кухта и др., 2024; Сушко, 2017; Лебедев, Спесивцев, 2015; Розенталь, Шпер, 2023; Хамитова и др., 2023; Aronov et al., 2020).

Интересно, что выявление сходств временных рядов в контексте решения одной из этих задач не гарантирует сходств в контексте других. Именно поэтому проблема сравнения двух временных рядов лежит далеко за пределами простого подсчета коэффициента корреляции.

Цель исследования – рассмотреть подходы к сравнению временных данных в контексте решений задач исследования их поточечной близости, синхронности и корреляции и продемонстрировать их решение на примерах как прикладных исследований, так и модельных.

Методы и материалы

Реализация модельных примеров проводилась в программах *Statistica 15* и *Excel*. Для решения поставленных задач использовались следующие понятия и инструменты: стандартное отклонение, евклидово расстояние, коэффициент вариации, коэффициент корреляции Пирсона r , линейная регрессия, критерий G-знаков, критерий χ^2 -Пирсона (Кобзарь, 2012).

Помимо построенных модельных примеров использовались результаты предыдущих исследований автора и данные открытого доступа с указанием соответствующих ссылок.

Результаты и обсуждение

Что понимать под взаимосвязью временных рядов? Интуитивно понятно, что массивы рядов связаны, если по значениям одного можно сделать прогноз значений другого в конкретный разрез времени. Однако при сравнении массивов не всегда возможно решить такую задачу, так как их значения (уровни временных рядов) часто формируются под воздействием множества также меняющихся во времени факторов. Поэтому в прикладных исследованиях могут возникать и другие смежные задачи, которые выделены во введении: точечная близость уровней рядов, синхронность динамики за один или несколько временных периодов и корреляция временных рядов.

Но насколько допустимо переносить выводы о тесноте связи между колебаниями на синхронность и близость рядов? Очевидно, что совпадение синхронности во времени не обеспечивает поточечную близость рядов (на рис. 1а, к примеру, точки 14 и 15), и наоборот, поточечная близость не всегда задает синхронность изменчивости (на рис. 2а, например, пары точек с номерами 14 и 15). Однако остается вопрос. Что подразумевать под поточечной близостью рядов? Эта проблема будет рассмотрена далее при описании первой задачи. Наиболее интересна ситуация возможности переноса вывода о корреляции рядов на выводы о близости и синхронности. На рис. 1а,б представлены модельные данные рядов X и Y , для которых $r = 0.3$, но синхронность наблюдается повсюду за исключением двух выделенных промежутков. А на рис. 2а,б, напротив, прослеживается асинхронность¹⁾ на всех промежутках, кроме отмеченных четырех, однако рассчитанный коэффициент корреляции между показателями рядов высокий и составляет $r = 0.9$.

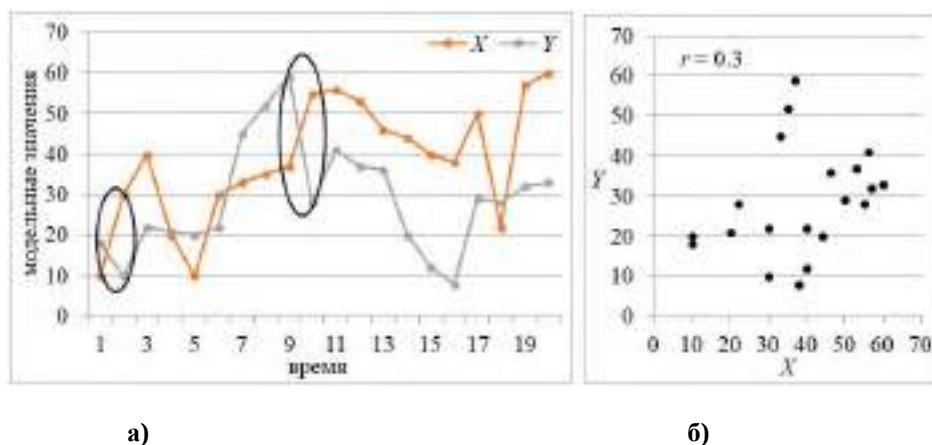


Рисунок 1. Модельные значения временных рядов X и Y : а) во времени, 2 несовпадения направлений динамики из 19, б) диаграмма рассеяния, коэффициент корреляции $r = 0.3$

Figure 1. Model values of time series X and Y : а) in time, 2 mismatches in the directions of dynamics out of 19, б) scatter diagram, correlation $r = 0.3$

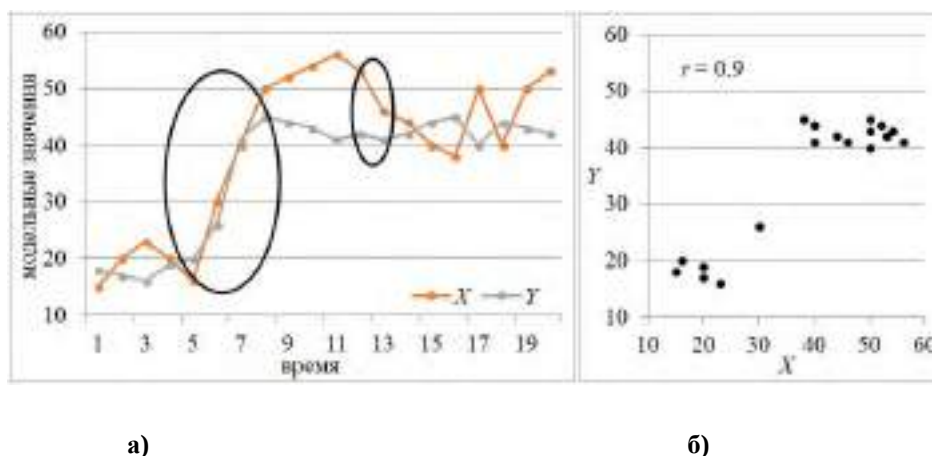


Рисунок 2. Модельные значения временных рядов X и Y : а) во времени, 4 совпадениями направлений динамики из 19, б) диаграмма рассеяния, коэффициент корреляции $r = 0.9$

Figure 2. Model values of time series X and Y : а) in time, 4 coincidences of the directions of dynamics out of 19, б) scatter diagram, correlation $r = 0.9$

Очевидно, что могут быть и ситуации обратные: синхронность на большинстве временных интервалов будет сопровождаться высоким значением корреляции, а асинхронность – близким к нулю. Таким образом, выводы о тесноте корреляционной связи между колебаниями рядов в общем случае не экстраполируются на выводы об их поточечной близости и синхронности (равно как неверно в общем случае и обратное суждение).

1) Асинхронность – несовпадение монотонности на рассматриваемом промежутке.

Рассмотрим каждую задачу отдельно.

Первая задача. Поточечная близость уровней временных рядов может рассматриваться через евклидово расстояние, если сравнение производится среди трех и более рядов и необходимо выбрать наиболее близкие из них:

$$\rho_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - y_{ik})^2}{n}}, \quad (1)$$

где y_{ij} и y_{ik} – i -е значения j -го и k -го динамического рядов, $i = 1, \dots, n$. Такая задача решалась, к примеру, авторами при выборе глобальной модели, наиболее точно воспроизводящей климат Арктического региона (Максимова, Гинзбург, 2020). Однако если нужно провести оценку близости между двумя рядами, то возникает вопрос: с чем сравнивать? И тогда обычная евклидова метрика не подходит (Бурнаев, Оленев, 2006; Максимова, Кухта, 2022б). С этой целью авторы исследования (Максимова, Кухта, 2022б; Максимова, Кухта, 2023) для сравнения параметров изменчивости приростов сосны в разных местообитаниях разработали и верифицировали на нескольких наборах натурных данных коэффициент:

$$V_{\text{ско}_{\text{связи}}} = \frac{\rho_{jk}}{\text{med}_{jk}}, \quad (2)$$

где med_{jk} – медиана данных для j -го и k -го рядов биотопов, а ρ_{jk} рассчитывается по формуле (1). Коэффициент (2) показывает, во сколько раз расстояние между данными отличается от их медианного значения. В качестве порогового значения для оценки близости выбрано 0.35 как для похожего по структуре часто применяемого в статистике коэффициента вариации оценки однородности данных. Действительно, если $V_{\text{ско}_{\text{связи}}}$ меньше 0.35, то это означает, что средняя разность²⁾ между точками меньше примерно в три и более раз их медианного значения. Однако, следует отметить, что выбор такого порогового значения на данный момент обосновано лишь эмпирическими исследованиями и в дальнейшем требует теоретической проверки.

У других авторов разработан подход оценки близости на основе вейвлет-коэффициентов: предложена методика расчета мер близости между временными рядами на основе характеристик этих рядов, получаемых с помощью дискретного вейвлет-преобразования (Бурнаев, Оленев, 2006). На экспериментах с финансовыми данными этот подход подтвердил эффективность, но, несмотря на некоторые достоинства, следует отметить, что он отли-

²⁾ Под средней разностью понимается корень квадратный из средней суммы квадратов разностей между точками (согласно формуле (2))

чается гораздо большей технической сложностью, чем подход, описанный выше.

Иногда используются для сравнения временных рядов критерии проверки параметрических гипотез и критерии согласия, например χ^2 -Пирсона, на принадлежность выборок (соответствующим массивам двух временных рядов) одному распределению. Но даже если при таком подходе получены положительные результаты о сходстве, невозможно сделать вывод о близости рядов, так как сравнение данных в пространстве не учитывает порядок следования точек, который играет принципиально важную роль во временных рядах.

Как было отмечено во введении, в такой постановке задачи важно, чтобы имелись одинаковые единицы измерения данных, формирующих временные ряды.

Вторая задача. Синхронность временных рядов возникает во множестве прикладных исследований: в биологии, например, при определении сходства дендрохронологических данных образцов, взятых на разных участках (Феклистов и др., 2020), при оценке направленности отклика воздействия трансграничного загрязнения или климатических факторов на параметры роста древостоя (Кухта и др., 2024; Шерстнева и др., 2024). Для оценки синхронности временных рядов вводится коэффициент, равный доле совпадающих направлений изменчивости уровней рядов среди всех направлений (Феклистов и др., 2020; Шерстнева и др., 2024). Авторами работы (Феклистов и др., 2020) предложена граница коэффициента синхронности в 50%, начиная с которой можно судить о неслучайном совпадении, но такая оценка лишь приближенная. Поэтому для принятия решения о значимом числе совпадений рекомендуется применять критерий G-знаков (Максимова и др., 2023; Шерстнева и др., 2024; Максимова, Гинзбург, 2020). Приведем пример из работы (Максимова и др., 2023), в которой исследовалась сонаправленность динамик индексов линейных приростов сосны во влажных биотопах и средних температур прошлогоднего вегетационного сезона заповедника «Кивач» (рис. 3). Для установления статистической значимости их сонаправленности используется критерий G-знаков, в котором выдвигается основная гипотеза о случайном совпадении направлений, а конкурирующая – не случайном. Число несовпадений из возможных 22 направлений составляет $G_{расч} = 5$, а критическое значение для уровня ошибки 5% составляет $G_{крит} = 6$. Так как $G_{расч} < G_{крит}$, то синхронность рядов признается неслучайной (статистически значимой).

Для модельного примера на рис. 1 коэффициент $V_{ско_{связи}} = 0.58 > 0.35$, что фиксирует большую поточечную разницу рядов, но при этом ряды ведут себя синхронно (синхронность составляет 89.5%). Для примера на рис. 2 $V_{ско_{связи}} = 0.17$, что дает хорошую поточечную близость, но синхронность составляет лишь 21%. Это дополнительно демонстрирует содержательную разницу постановок задач сравнения поточечной близости и синхронности временных рядов.



Рисунок 3³⁾. График хода средних температур (апрель-сентябрь прошлого года, °C) и индексов линейных приростов влажных биотопов

Figure 3. Average temperatures graph (April-September last year, °C) and linear increments indices of wet biotopes

Третья задача. Расчет коэффициента корреляции между признаками. Эта задача имеет широкий спектр применений в разных областях. Известно, что коэффициент корреляции Пирсона служит мощным статистическим инструментом, который может помочь исследователям обнаружить скрытые закономерности и взаимосвязь между переменными (Максимова, 2024; Благовещенский, 2009). Однако у этого инструмента есть ограничения как при расчете, так и интерпретации в условиях прикладной задачи. Применение альтернативных коэффициентов корреляции, например, Спирмена и Кендалла, также не обеспечивает точность выводов в задаче сравнения временных рядов, так как можно прийти к неверным умозаключениям, вызываемым ложной корреляцией. Это связано с тем, что все показатели меняются со временем t , которое может рассматриваться в качестве общей причины для всех временных рядов. При этом могут встречаться две ситуации:

- 1) связь временных рядов имеет практическое обоснование, но величина коэффициента корреляции это не подтверждает,
- 2) коэффициент корреляции между временными рядами показывает наличие синхронности, однако, связь ложная.

Далее будут рассмотрены ситуации и приведены примеры в условиях расчета коэффициента корреляции Пирсона.

Для ситуации 1) рассмотрим диаграмму рассеяния на рис. 4, построенную для данных исследования, представленных на рис. 3. Обнаруженная синхронность динамик, как отмечалось, значимая, однако коэффициент корреляции Пирсона между признаками невысок для такого небольшого объ-

³⁾ Расчеты и рисунок выполнен автором и опубликован в исследовании (Максимова и др., 2023)

ема данных и составляет $r = 0.4$ (что объясняется наличием воздействия множества других факторов). Известно из натурных наблюдений, что такая связь оправдана и подтверждает лимитирующую роль температур на этапе формирования почек возобновления для сосняков в сфагновых биотопах, характеризующихся холодным субстратом (Максимова и др., 2023). В качестве математического подтверждения наличия причинно-следственной связи рекомендуется в этом случае продолжить ряд наблюдений по мере накопления данных.

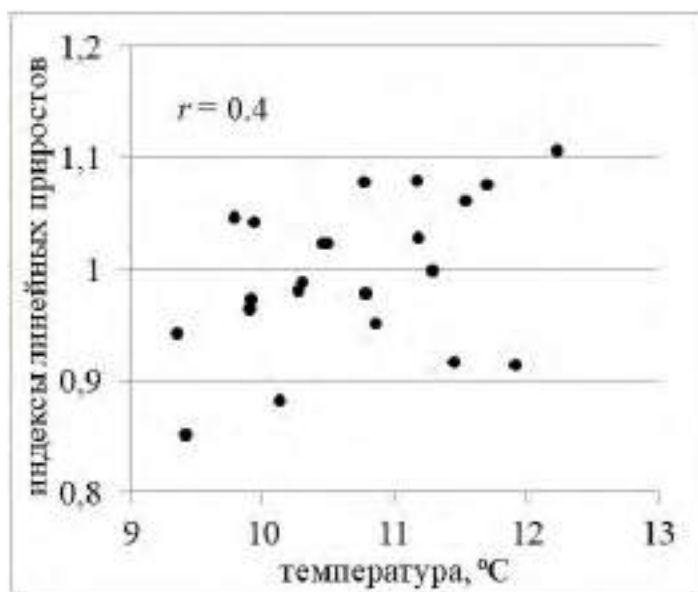


Рисунок 4. Диаграмма рассеяния для данных, представленных на рис. 3

Figure 4. Scatter plot for the data presented in Picture 3

Приведем еще один пример, данные для которого заимствованы из (Елисеева, Юзбашев, 2006). Рассмотрим изменения двух признаков $X = \{\text{урожайность картофеля, ц/га}\}$, $Y = \{\text{стоимость картофеля за ц}\}$ за 13 лет с 1977 по 1989 гг. (рис. 5). По рис. 5б видно, что коэффициент корреляции Пирсона близок к нулю. Но по законам экономики при пространственной корреляции связь урожайности и себестоимости отрицательная сильная: чем выше урожайность, тем ниже в среднем формируется себестоимость. Наиболее вероятно, наблюдается ложная слабая корреляция. Графически на рис. 5а можно видеть асинхронность рядов во все временные промежутки, кроме одного. Для математического подтверждения связи между уровнями урожайности и себестоимости можно рекомендовать рассмотреть корреляцию между колебаниями без учета трендов (так как причиной ложной корреляции может быть однонаправленность трендов обоих признаков) или рассмотреть цены на картофель, приведенные с помощью дефляторов к одному базисному году. В частности, корреляция между колеблемостью признаков после устранения трендовой составляющей в каждом ряду (т.е. корреляция отклонений от трен-

дов), составляет $r = -0.94$, что может служить обоснованием выдвинутой гипотезы об обратной связи между признаками.

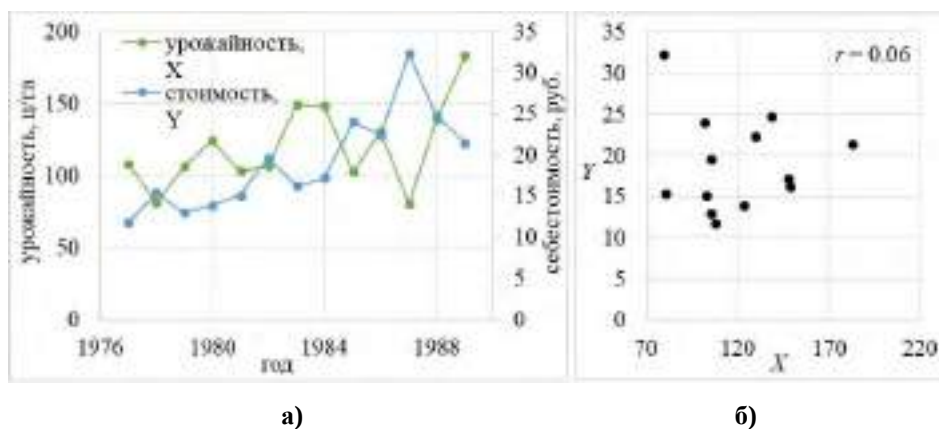


Рисунок 5. Данные по урожайности картофеля X и его стоимости Y с 1977 по 1989 гг.: а) во времени, б) диаграмма рассеяния

Figure 5. Data on potato yield X and its cost Y from 1977 to 1989: a) in time, b) scatter diagram

Ситуация 2), когда коэффициент корреляции дает высокое абсолютное значение, а связь является ложной, может иметь разные причины:

- выбран случайным образом отрезок времени, в течение которого признаки варьируют по совпадению случайных причин (пример такой ситуации – случайная связь между температурой приземного воздуха и осадками за выбранный недлительный период, описанной в работе (Максимова и др., 2023)),
- неоднородность данных в рядах: наличие выбросов или периодические ошибки измерений (известно, к примеру, что коэффициент корреляции Пирсона чувствителен к выделяющимся наблюдениям (Максимова, 2024)),
- наличие сезонных волн колебаний одинаковой тенденции или наличие влияния третьего фактора.

Приведем пример для последней ситуации. Рассмотрим данные⁴⁾ для США по потреблению сыра моцарелла в год на человека, X (фунтов), и по числу защищенных диссертаций в строительстве, Y (шт.), с 2000 по 2009 гг. (рис. 6а). Коэффициент корреляции между признаками X и Y равен $r = 0.96$, который, очевидно, высокий даже для такого небольшого объема данных (рис. 6б). Казалось бы, что можно сделать вывод, что увеличение съедаемого сыра моцарелла способствует увеличению числа диссертаций в строительстве, или чем больше докторских степеней будет получено, тем больше сыра моцарелла будет потребляться. Однако анализ за представленные годы говорит о приросте численности населения⁵⁾, которое как третий фактор наиболее

⁴⁾данные восстановлены из интернет-ресурса: <http://www.tylervigen.com/spurious-correlations> (дата обращения 24.01.2024)

⁵⁾ https://ru.wikipedia.org/wiki/Население_США (дата обращения 28.01.2025)

вероятно оказывает влияние на признак Y (рассчитанная корреляция между числом защищенных диссертаций в строительстве и общей численностью населения составила $r = 0.95$). Также с ростом населения могут суммарно варьироваться вкусовые предпочтения людей в сторону увеличения потребления сыра. Возникает тем самым однонаправленность временных трендов для X и Y (рис. 6а). Действительно, полученная первоначально высокая связь не является причинно-следственной и наиболее вероятно вызвана действием третьего фактора – приростом населения⁴). Рассматривать такую взаимосвязь для практических выводов не уместно.

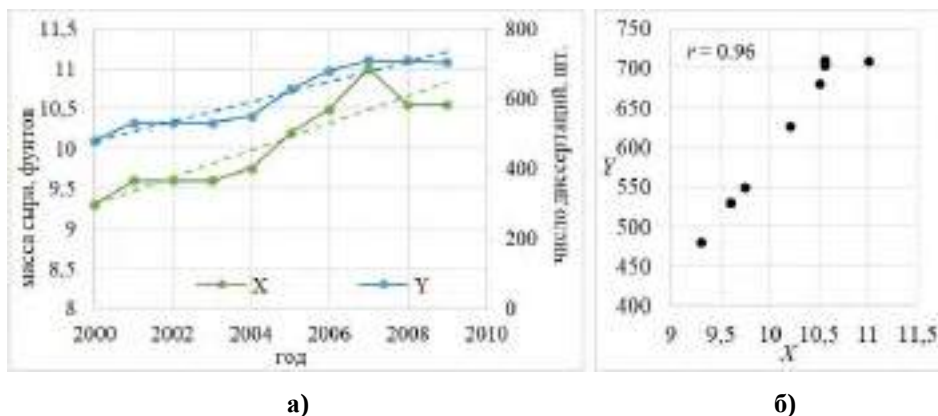


Рисунок 6. Данные⁵ по годовому потреблению сыра моцарелла на душу населения в США (X , фунты) и числу защищенных диссертаций в строительстве (Y , шт.) с 2000 по 2009 гг.: а) во времени, б) диаграмма рассеяния

Figure 6. Data in the United States on annual per capita consumption of mozzarella cheese (X , pounds) and the number of dissertations defended in construction (Y , units) from 2000 to 2009: а) over time, б) scatter plot

Таким образом, коэффициент корреляции при наличии сонаправленных трендов может быть необоснованно высоким по абсолютной величине. И в одном, и в другом ряду уровни более поздних лет будут либо больше, либо меньше, уровней более ранних периодов. Коэффициент корреляции окажется положительным. Но одинаковая направленность трендов вовсе не влечет причинной зависимости.

Иногда при наличии трендов для установления взаимосвязи рядов строят уравнение регрессии, описывающее зависимость значений одного ряда от значений другого при включении переменной времени t в уравнение в качестве объясняющей. Этот прием широко используется в анализе временных рядов, когда тенденция фиксируется через включение фактора времени в модель. Данный подход позволяет учесть всю информацию, содержащуюся в исходных данных, и не приводит к потере числа наблюдений. Основная проблема такого подхода – интерпретация коэффициента при факторе времени, поэтому этот прием нельзя считать универсальным при сравнении временных рядов (Елисеєва, Юзбашев, 2006).

Следствием изложенных подходов служит тот факт, что ответ на вопрос, насколько допустимо переносить выводы о тесноте связи между колебаниями

на связь динамических рядов в целом, зависит от качественного содержания процесса и причинного механизма связи.

Иногда исследователей при сравнении временных рядов интересуют все три рассмотренные в настоящей статье задачи, поэтому в таком случае проводится комплексный анализ с разработкой подходов, присущих специфике данных (Максимова, Гинзбург, 2020; Бардин и др., 2020; Sun et al., 2015). Например, в работе автора, посвященной выбору глобальной климатической модели, наиболее точно воспроизводящей региональные проекции климата, исследуются как близость числовых показателей подготовленных массивов, так и попарная близость уровней рядов, и синхронность трендов, и корреляция (Максимова, Гинзбург, 2020; Максимова, Кухта, 2022а). На рис. 7 приведен результат такого подбора модели для Арктического региона (Архангельская обл., Ненецкий АО, республика Коми) после предварительного сглаживания данных с окном $l = 10$ лет (Максимова, Кухта, 2022а).

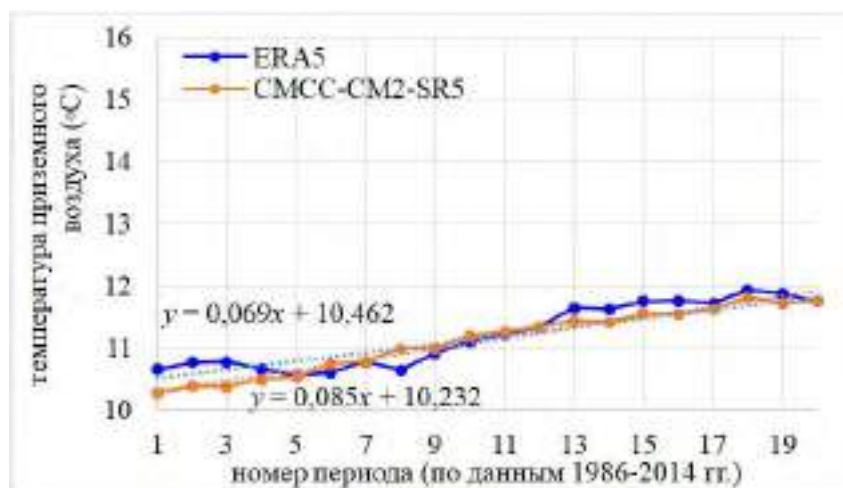


Рисунок 7⁶⁾. Средние температуры приземного воздуха за июль-сентябрь с окном сглаживания $l = 10$ лет модели CMCC-CM2-SR5 по Арктическому региону (Архангельская обл., Ненецкий АО, респ. Коми) для исторического периода в сравнении с данными реанализа ERA5 с указанием трендов

Figure 7. Average surface air temperatures for July-September with a smoothing period $l = 10$ years of the CMCC-CM2-SR5 model for the Arctic region (Arkhangelsk Region, Nenets Autonomous District, Rep. Komi) with trends: for the historical period in comparison with the ERA5 reanalysis data

С целью выбора модели была проведена верификация глобальных климатических моделей проекта CMIP6⁷⁾ по главному члену ансамбля r1i1p1 с

⁶⁾ Расчеты и рисунок выполнен автором и опубликован в исследовании (Максимова, Кухта, 2022а)

⁷⁾ CMIP – проект сравнения объединенных глобальных климатических моделей, CMIP 6 – 6-я фаза этого международного проекта: <https://esgf-index1.ceda.ac.uk/projects/cmip6-ceda/> (дата обращения 03.06.2021)

данными реанализа ERA5 по температуре приземного воздуха за период с 1986 по 2014 гг. для вегетационного сезона июль-сентябрь. Наиболее близкой в этих условиях к данным реанализа оказалась модель CMCC-CM2-SR5⁸⁾ с коэффициентом корреляции $r = 0.93$, близкими трендами и поточечной близостью. Это дало возможность признать ее наиболее точной в оценке воспроизводимости климата по температуре приземного воздуха для Арктического региона и использовать для дальнейшего прогноза изменения температуры.

Выводы и заключение

При сравнении временных рядов в работе рассмотрены следующие задачи: поточечная близость, синхронность изменения во времени и корреляция уровней рядов. Предложены подходы решения каждой задачи в-отдельности, продемонстрированные как на модельных примерах, так и на задачах прикладных исследований. Выявлены особенности каждого подхода, которые необходимо учитывать при постановке задачи о сравнении массивов данных во времени.

Установлено, что выводы, полученные при решении только одной задачи, нельзя переносить как на выводы другой, так и на связь временных рядов в целом. Например, синхронность изменения показателей рядов не обязательно влечет поточечную близость и корреляцию их уровней, а высокая корреляция может не обеспечивать синхронность и давать ложные выводы о взаимосвязи показателей во времени, и т.п.

Возможность получения выводов о наличии причинно-следственных связей временных рядов в целом зависит от качественного анализа содержания рассматриваемых процессов. Это проблема, выходящая далеко за пределы статистической науки, и чаще всего лежит в понимании описываемых процессов.

Благодарности

Автор признателен Кухта А.Е. (к.б.н., в.н.с. Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля) за идеологический вклад в понимание и интерпретацию биологических выводов.

Исследование выполнено в соответствии с планом НИТР РОСГИДРОМЕТА: "Развитие методов и технологий мониторинга и оценки загрязнения природной среды вследствие трансграничного атмосферного переноса загрязняющих веществ и кислотных выпадений (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ; ЕАНЕТ). регистрационный номер 125031703847-1".

⁸⁾ <https://cmip-publications.llnl.gov/view/CMIP6/?type=model&option=CMCC-CM2-SR5>
(дата обращения 29.01.2025)

Список литературы

- Асфандиярова, Л.Р., Асфандияров, Р.Н., Рашидова, А.Р., Юнусова, Г.В. (2013) Анализ сезонных изменений концентраций загрязняющих веществ в р. Белая, *Баширский химический журнал*, т. 20 (4), с. 126-131.
- Бардин, М.Ю., Ранькова, Э.Я., Платова, Т.В., Самохина, О.Ф., Корнева, И.А. (2020) Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 29-45.
- Благовещенский, Ю.Н. (2009) *Тайны корреляционных связи в статистике, Серия «Библиотека Солев»*, М., Научно-издательский центр ИНФРА-М, Научная книга, 158 с.
- Бурнаев, Е.В., Оленев, Н.Н. (2006) Меры близости на основе вейвлет коэффициентов для сравнения статистических и расчетных временных рядов, *Межвузовский сборник научных и научно-методических трудов за 2005 год (Десятый выпуск)*, Киров, Изд-во Вятский государственный университет, с. 41-51.
- Елисеева, И.И., Юзбашев, М.М. (2006) *Общая теория статистики: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению и специальности "Статистика"*, М., Финансы и статистика, 654 с.
- Израэль, Ю.А., Павлов, А.В., Анохин, Ю.А., Мяч, Л.Т., Шерстюков, А.Б. (2006) Статистические оценки изменения элементов климата в районах вечной мерзлоты на территории Российской Федерации, *Метеорология и гидрология*, т. 5, с. 27-38
- Катаева, Е.С., Якимук, А.Ю. (2019) Применение метода выделения синхронности при оценке сходства вокальных исполнений, *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*, т. 22 (3), с. 49-54.
- Кобзарь, А.И. (2012) *Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников*, М., ФИЗМАТЛИТ, 816 с.
- Кухта, А.Е., Максимова, О.В., Махрова, Т.Г., Громов, С.А. (2024) Отклик приростов сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* бореальных фитоценозов на трансграничное загрязнение, *Проблемы региональной экологии*, № 6, с. 26-34, doi: 10.24412/1728-323X-2024-2-26-34.
- Лбов, Г.С., Герасимов, М.К. (2010) Прогнозирование экстремальных событий на основе анализа многомерных разнотипных временных рядов, *Вычислительные технологии*, т. 15 (5), с. 81-91.
- Лебедев, В.А., Спесивцев, Б.И. (2015) Возможность прогнозирования кризисных явлений на мировом рынке цен на нефть и газ на основе корреляционного анализа, *Записки Горного института*, т. 213, с. 94-99.
- Максимова, О.В. (2024) Об ошибках обращения с коэффициентом корреляции Пирсона, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXV, № 3-4, с. 88-102.
-

Максимова, О.В., Гинзбург, В.А. (2020) Изменения приземной температуры воздуха в континентальной части Арктического региона (Архангельская обл., респ. Коми, Ненецкий АО) – анализ и выбор модели прогноза, *Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны*, Расширенные тезисы докладов, Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Институт географии РАН, с. 79-82.

Максимова, О.В., Кухта, А.Е. (2022а) Оценка изменения линейных приростов сосны обыкновенной Печоро-Илычского заповедника на основе климатического прогноза температуры приземного воздуха в российской Арктике, *Арктика: экология и экономика*, т. 12, № 1, с. 77-86, doi: 10.25283/2223-4594-2022-1-77-86.

Максимова, О.В., Кухта, А.Е. (2022б) Вариабельность линейных и радиальных приростов сосны обыкновенной побережья Белого моря в зависимости от условий произрастания, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXIII, № 20-36, с. 20-36, doi: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-20-36.

Максимова, О.В., Кухта, А.Е. (2023) Сравнительный анализ изменчивости линейных и радиальных приростов сосны обыкновенной в разных типах местообитаний государственного природного заповедника «Кивач», *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. 34, № 3-4, с. 45-61, doi: 10.21513/0207-2564-2023-3-4-45-61.

Максимова, О.В., Кухта, А.Е. (2024) Об особенностях сравнения динамических рядов параметров хода роста сосны обыкновенной в разных типах местообитаний, *Стандарты и качество*, № 13, с. 55-61.

Максимова, О.В., Кухта, А.Е., Коротков, С.А. (2023) Воздействие черного углерода и других климатических факторов на линейные приросты сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.) на территории заповедника «Кивач», *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, т. 27, № 5, с. 48-59, doi: 10.18698/2542-1468-2023-5-48-59.

Розенталь, О.М., Шпер, В.Л. (2023) Разведочный анализ характеристик природных вод, *Экологические системы и приборы*, № 3, с. 21-29, doi: 10.25791/esip.3.2023.1358.

Сушко, О.П. (2017) Особенности динамики цен сельскохозяйственной продукции северных стран, *Арктика и Север*, т. 26, с. 38-52.

Феклистов, П.А., Бызова, Н.М., Пашкевич, А.И., Сазанова, Е.В., Соболев, А.Н. (2020) Дендрохронологическое исследование древесины в исторически значимых арктических объектах, *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, 5(377), с. 106-118.

Хамитова, Р.Я., Лоскутов, Д.В., Валеева, Э.Р., Степанова, Н.В. (2023) Анализ взаимосвязей заболеваемости взрослого населения инсулиннезависимым сахарным диабетом и алкогольных показателей, *Наука молодых – Eruditio Juvenium*, т. 11(3), с. 303-317.

Шерстюков, Б.Г. (2011) *Изменения, изменчивость и колебания климата*, Обнинск, ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 293 с.

Шрамко, О.Г. (2012) Влияние синхронности макроэкономических показателей на оценку эффективности экономической политики государства, *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*, т. 30, с. 43-49.

Aronov, I.Z., Maksimova, O.V., Galkina, N.M. (2020) COVID-19 Highest Incidence Forecast in Russia Based on Regression Model, *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, vol. 5, no. 5, pp. 812-819, doi.org/10.33889/IJMEMS.2020.5.5.063.

Sun, Q., Miao, C., Duan, Q. (2015) Comparative analysis of CMIP3 and CMIP5 global climate models for simulating the daily mean, maximum, and minimum temperatures and daily precipitation over China, *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 120, pp. 4806-4824, doi: 10.1002/2014JD022994.

Taleb, N.N. (2001) *Fooled by Randomness: The Hidden Role of Chance in Life and in the Markets*, Random House, US, 316 p.

Reference

Asfandiyarova, L.R., Asfandiyarov, R.N., Rashidova, A.R., Yunusova, G.V. (2013) Analiz sezonnykh izmeneniy kontsentratsiy zagryaznyayushchikh veshchestv v R. Belaya [Analysis of seasonal changes in pollutant concentrations in the Belaya River], *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal*, vol. 20 (4), pp. 126-131.

Bardin, M.Yu., Ran'kova, E.Ya., Platova, T.V., Samokhina, O.F., Korneva, I.A. (2020) Sovremennyye izmeneniya prizemnogo klimata po rezul'tatam regul'yarnogo monitoring [Modern changes in surface climate based on the results of regular monitoring], *Meteorologiya i gidrologiya*, vol. 5, pp. 29-45.

Blagoveshchenskiy, Yu.N. (2009) *Tajny korrelyacionnykh svyazi v statistike* [Secrets of correlation in statistics], Seriya «Biblioteka Soley», «Nauchno-izdatel'skiy centr INFRA-M», «Nauchnaya kniga», Moscow, Russia, 158 p.

Burnayev, Ye.V., Olenov, N.N. (2006) Mery blizosti na osnove veyvlet koefitsiyentov dlya sravneniya statisticheskikh i raschetnykh vremennykh ryadov [Measures of Proximity Based on Wavelet Coefficients for Comparison of Statistical and Estimated Time Series], *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh i nauchno-metodicheskikh trudov za 2005 god (Desyatyy vypusk)* [Interuniversity collection of scientific and scientific-methodical works for 2005 (Tenth issue)], Izd-vo Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, Kirov, Russia, pp. 41-51.

Yeliseyeva, I.I., Yuzbashev, M.M. (2006) *Obshchaya teoriya statistiki: ucheb. dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu i spetsial'nosti "Statistika"* [General Theory of Statistics: a textbook for university students majoring in Statistics], Finansy i statistika, Moscow, Russia, 654 p.

Izrael', Yu.A., Pavlov, A.V., Anokhin, Yu.A., Myach, L.T., Sherstyukov, A.B. (2006) Statisticheskiye otsenki izmeneniya elementov klimata v rayonakh vechnoy

merzloty na territorii Rossiyskoy Federatsii [Statistical estimates of climate change in permafrost regions on the territory of the Russian Federation], *Meteorology and hydrology*, vol. 5, pp. 27-38.

Katayeva, Ye.S., Yakimuk, A.Yu. (2019) *Primeneniye metoda vydeleniya sinkhronnosti pri otsenke skhodstva vokal'nykh ispolneniy* [Application of the synchronicity detection method in assessing the similarity of vocal performances], *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki*, vol. 22 (3), pp. 49-54.

Kobzar', A.I. (2012) *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists], Fizmatlit, Moscow, Russia, 816 p.

Kukhta, A.Ye., Maksimova, O.V., Makhrova, T.G., Gromov, S.A. (2024) Otklik prirostov sosny obyknovennoy *Pinus sylvestris* boreal'nykh fitotsenozov na transgranichnoye zagryazneniye [Response of Scots pine *Pinus sylvestris* growth in boreal phytocenoses to transboundary pollution], *Problemy regional'noy ekologii*, no. 6, pp. 26-34, doi: 10.24412/1728-323X-2024-2-26-34.

Lbov, G.S., Gerasimov, M.K. (2010) Prognozirovaniye ekstremal'nykh sobytiy na osnove analiza mnogomernykh raznotipnykh vremennykh ryadov [Forecasting extreme events based on the analysis of multivariate heterogeneous time series], *Vychislitel'nyye tekhnologii*, vol. 15 (5), pp. 81-91.

Lebedev, V.A., Spesivtsev, B.I. (2015) *Vozmozhnost' prognozirovaniya krizisnykh yavleniy na mirovom rynke tsen na neft' i gaz na osnove korrelyatsionnogo analiza* [The Possibility of Forecasting Crisis Phenomena in the World Market of Oil and Gas Prices Based on Correlation Analysis], *Zapiski Gornogo instituta*, no. 213, pp. 94-99.

Maksimova, O.V. (2024) *Ob oshibkakh obrashcheniya s koeffitsiyentom korrelyatsii Pirsona* [The Possibility of Forecasting Crisis Phenomena in the World Oil and Gas Price Market Based on Correlation Analysis], *Ekologicheskii monitoring i modelirovaniye ekosistem*, vol. XXXV, no. 3-4, pp. 88-102.

Maksimova, O.V., Ginzburg, V.A. (2020) *Izmeneniya prizemnoy temperatury vozdukha v kontinental'noy chasti Arkticheskogo regiona (Arkhangel'skaya obl., resp. Komi, Nenetskiy AO) – analiz i vybor modeli prognoza* [Changes in Surface Air Temperature in the Continental Part of the Arctic Region (Arkhangelsk Region, Komi Republic, Nenets Autonomous Okrug) – Analysis and Selection of a Forecast Model], *Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy. Ekosistemy i klimat Arkticheskoy zony* [Monitoring of the state and pollution of the environment. Ecosystems and climate of the Arctic zone], Extended abstracts of reports, Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, pp. 79-82.

Maksimova, O.V., Kukhta, A.Ye. (2022a) *Otsenka izmeneniya lineynykh prirostov sosny obyknovennoy Pechoro-Ilychskogo zapovednika na osnove klimaticheskogo prognoza temperatury prizemnogo vozdukha v rossiyskoy Arktike*

[Assessment of changes in linear increments of Scots pine of the Pechora-Ilychsky Reserve based on the climate forecast of surface air temperature in the Russian Arctic], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, vol. 12, no. 1, pp. 77-86, doi: 10.25283/2223-4594-2022-1-77-86.

Maksimova, O.V., Kukhta, A.Ye. (2022b) Variabel'nost' lineynykh i radial'nykh prirostov sosny obyknovennoy poberezh'ya Belogo morya v zavisimosti ot usloviy proizrastaniya [Variability of linear and radial increments of Scots pine on the White Sea coast depending on growing conditions], *Ekologicheskiy monitoring i modelirovaniye ekosistem*, vol. XXXIII, vol. 20-36, pp. 20-36, doi: 10.21513/0207-2564-2022-3-4-20-36.

Maksimova, O.V., Kukhta, A.Ye. (2023) Sravnitel'nyy analiz izmenchivosti lineynykh i radial'nykh prirostov sosny obyknovennoy v raznykh tipakh mestoobitaniy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Kivach» [Comparative analysis of variability of linear and radial increments of Scots pine in different types of habitats of the Kivach State Nature Reserve], *Ekologicheskiy monitoring i modelirovaniye ekosistem*, vol. 34, № 3-4, pp. 45-61, doi: 10.21513/0207-2564-2023-3-4-45-61.

Maksimova, O.V., Kuhta, A.E. (2024) Ob osobennostyakh sravneniya dinamicheskikh ryadov parametrov hoda rosta sosny obyknovennoj v raznykh tipakh mestoobitaniy [On the peculiarities of comparison of dynamic series of parameters of the growth course of Scots pine in different types of habitats], *Standarty I kachestvo*, no.13, pp. 55-61.

Maksimova, O.V., Kuhta, A.E., Korotkov, S.A. (2023) Vozdejstvie chernogo ugleroda i drugih klimaticheskikh faktorov na linejnye prirosty sosny obyknovennoj (*Pinus Sylvestris* L.) na territorii zapovednika «Kivach» [Impact of black carbon and other climatic factors on linear growth of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) in the territory of the Kivach nature reserve], *Lesnoj vestnik*, vol. 27, no. 5. pp. 48-59, doi: 10.18698/2542-1468-2023-5-48-59.

Rozental', O.M., Shper, V.L. (2023) Razvedochnyy analiz kharakteristik prirodnikh vod [Exploratory analysis of natural water characteristics], *Ekologicheskiye sistemy i pribory*, no. 3, pp. 21-29, doi: 10.25791/esip.3.2023.1358.

Sushko, O.P. (2017) Osobennosti dinamiki tsen sel'skokhozyaystvennoy produktsii severnykh stran [Features of the dynamics of prices for agricultural products of northern countries], *Arktika i Sever*, vol. 26, pp. 38-52.

Feklistov, P.A., Byzova, N.M., Pashkevich, A.I., Sazanova, Ye.V., Sobolev, A.N. (2020) Dendrokronologicheskoye issledovaniye drevesiny v istoricheskikh znachimykh arkticheskikh ob'yektakh [Dendrochronological study of wood in historically significant Arctic objects], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 5 (377), pp. 106-118.

Khamitova, R.Ya., Loskutov, D.V., Valeyeva, E.R., Stepanova, N.V. (2023) Analiz vzaimosvyazey zabolevayemosti vzroslogo naseleniya insulinnezavisimym

sakharnym diabetom i alkogol'nykh pokazateley [Analysis of the relationships between the incidence of non-insulin-dependent diabetes mellitus in the adult population and alcohol indicators], *Nauka molodykh – Eruditio Juvenium*, vol. 11 (3), pp. 303-317.

Sherstyukov, B.G. (2011) *Izmeneniya, izmenchivost' i kolebaniya klimata* [Climate Changes, Variability and Fluctuations], "VNIIGMI-MTSD", Obninsk, Russia, 293 p.

Shramko, O.G. (2012) Vliyaniye sinkhronnosti makroekonomicheskikh pokazateley na otsenku effektivnosti ekonomicheskoy politiki gosudarstva [The Impact of Synchronicity of Macroeconomic Indicators on the Assessment of the Effectiveness of State Economic Policy], *Regional'naya ekonomika i upravleniye: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, vol. 30, pp. 43-49

Aronov, I.Z., Maksimova, O.V., Galkina, N.M. (2020) COVID-19 Highest Incidence Forecast in Russia Based on Regression Model, *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, vol. 5, no. 5, pp. 812-819, doi.org/10.33889/IJMEMS.2020.5.5.063.

Sun, Q., Miao, C., Duan, Q. (2015) Comparative analysis of CMIP3 and CMIP5 global climate models for simulating the daily mean, maximum, and minimum temperatures and daily precipitation over China, *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 120, pp. 4806-4824, doi: 10.1002/2014JD022994.

Taleb, N.N. (2001) *Fooled by Randomness: The Hidden Role of Chance in Life and in the Markets*, Random House, US, 316 p.

Статья поступила в редакцию (Received): 31.01.2025.

Принята к публикации (Accepted): 21.04.2025.

Для цитирования / For citation:

Максимова, О.В. (2025) Сравнение временных рядов в прикладных исследованиях: близость, синхронность и корреляция, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1-2, с. 46-64, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-46-64.

Maksimova, O.V. (2025) Comparison of time series in applied research: proximity, synchronism and correlation, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXVI, no. 1-2, pp. 46-64, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-46-64.

**Аборигенная растительность на стационаре
Международной совместной программы комплексного
мониторинга на территории заказника регионального
значения «Полярный круг»**

А.Е. Кухта^{1)}, Т.Г. Махрова^{1,2)}, Е.А. Шерстнева¹⁾*

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля»,
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

*Адрес для переписки: anna_koukhtha@mail.ru

Реферат. ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» является организацией, ответственной в Российской Федерации за выполнение Международной совместной программы комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) под эгидой Конвенции по трансграничному переносу загрязнений на большие расстояния Экономической комиссии ООН для Европы. МСП КМ выполняется на сети стационаров, одним из которых является комплексный заказник регионального значения «Полярный круг». Целью работы являлось подготовка геоботанического описания аборигенной растительности на стационаре МСП КМ, размещенном в данном заказнике для дальнейшего осуществления экологического мониторинга в рамках указанной программы. Работы выполнялись по методике, рекомендованной МСП КМ, в соответствии с Руководством по программе. Получены параметры древостоев, подроста, травянисто-кустарничкового и наземного ярусов на рассматриваемых участках. Сделан вывод о возможности проведения фонового экологического мониторинга на изучаемой территории с использованием полученных данных.

Ключевые слова. Экологический мониторинг, бореальные экосистемы, растительность, ель европейская, сосна обыкновенная, антропогенное воздействие, изменение климата.

**Native vegetation on the International Cooperative Programme
on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems
(ICP IM) site on the Polar Circle Regional Reserve Territory**

A.E. Koukhtha^{1)}, T.G. Makhrova^{1,2)}, E.A. Sherstneva¹⁾*

¹⁾Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

²⁾ Mytishki Branch of Bauman Moscow State Technical University,
bldg. 1, 1st Institutskaya st., 1141005, Mytishchi, Moscow region, Russian Federation

*Correspondence address: anna_koukhta@mail.ru

Abstract. Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology is the organization responsible in the Russian Federation for the implementation of the International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM) under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution of the UN Economic Commission for Europe. ICP IM is carried out on a permanent study area network, one of which is the Polar Circle Regional Reserve. The work purpose was to prepare a geobotanical description of native vegetation at the ICP IM site located at the reserve for further environmental monitoring within the mentioned program framework. The work was carried out according to the methodology recommended by the ICP IM in accordance with the Program Manual. The parameters of stands, undergrowth, herbaceous-shrub and ground layer at the considered sites were obtained. It is concluded that it is possible to conduct baseline environmental monitoring on the permanent study area using the obtained data.

Keywords. Environmental monitoring, boreal ecosystems, vegetation, Norway spruce, Scots pine, anthropogenic impact, climate change.

Введение

С 1992 г. ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ИГКЭ) участвует в Международной совместной программе комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) под эгидой Конвенции по трансграничному переносу загрязнений на большие расстояния Экономической комиссии ООН для Европы. Координационно-методическое руководство работами на российской сети станций МСП КМ в ИГКЭ осуществляет Национальный научно-координационный центр (ННКЦ)¹⁾. ННКЦ осуществляет сбор данных с сети станций, анализ полученных результатов, формирование и ведение Национальных баз данных, а также ежегодное представление отчетных материалов в Международный центр данных по окружающей среде (ЦДОС) (Уппсала, Швеция). Измерения и наблюдения по МСП КМ проводят согласно Руководству по комплексному мониторингу (Руководство..., 2013).

В числе стационаров МСП КМ в Российской Федерации работы ежегодно проводятся на территории комплексного заказника регионального значения «Полярный круг» (66°34'N, 33°08'E). Заказник расположен в Республике Карелия, на побережье Кандалакшского залива Белого моря. Мурманская область, согласно климатическому районированию по Б.П. Алисову, находится в Атлантико-Арктической климатической области умеренного

¹⁾ Международная совместная программа комплексного мониторинга (МСП КМ), URL: <http://www.igce.ru/performance/international/icp-im/> (дата обращения 09.01.2025).

пояса, в зоне избыточного увлажнения (Алисов, 1956). Согласно концепции Л.С. Берга, средообразующими факторами в бореальных экосистемах являются гумидный климат, а также мозаичный микро- и мезорельеф местности (Берг, 1922). Для данного биома характерен высокий уровень вариабельности условий произрастания, обусловленный многообразием местообитаний.

Основной целью биотического блока МСП КМ является регистрация отклика растительного сообщества или отдельных видов растений (биоиндикаторов) на изменения в выпадениях загрязняющих веществ или других атмосферных факторов, например, на изменение климата. Другая цель заключается в получении данных о динамике биомассы и структуры фитоассоциаций под воздействием антропогенных и естественных факторов. Кроме того, в цели программы входит мониторинг биоразнообразия лесных экосистем. Для достижения данных целей необходима информация о состоянии растительного покрова на период начала наблюдений.

Растительность маркирует эдафические и лесорастительные условия, с учетом которых производится оценка состояния экосистем в рамках МСП КМ. Для успешного выполнения программы необходимо опираться на корректное описание условий произрастания (в частности, эдафических параметров) и аборигенной растительности на пробных площадях стационара. Необходимая для выполнения программы информация получена из научной литературы, а также путём полевых исследований, выполненных сотрудниками ИГКЭ.

Целью данной работы являлось подготовка геоботанического описания аборигенной растительности на стационаре МСП КМ, размещенном на территории комплексного заказника регионального значения «Полярный круг» для дальнейшего осуществления экологического мониторинга в рамках указанной программы.

Регион исследований

Почвенный покров территории характеризуется высокой степенью разнообразия. По площади преобладают подзолистые почвы. Кроме того, повсеместно, от ложбин вершинных поверхностей до побережий и устьевых участков ручьёв, распространены болотные почвы. Для многочисленных скальных выходов («китовых лбов») характерны маломощные примитивные почвы²⁾.

Исследуемая территория находится в Кольско-Печорской подпровинции Евроазиатской таежной области, в Североевропейской флористической провинции, на стыке трех флористических районов – Иmandровского, Варзугского и Топозерского. Преобладающим здесь является бореальный (северотаёжный) тип растительности³⁾ (Раменская, 1983).

²⁾ Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова Биофака МГУ им. М.В. Ломоносова. URL: <http://wsbs-msu.ru/doc/index.php?ID=5> (дата обращения 26.12.2024).

Согласно Л.С. Бергу, средообразующим фактором таежных биогеоценозов является гумидный климат, а также ландшафт, формируемый микро- и мезорельефом (Берг, 1922). Высокий уровень мозаичности местообитаний и ландшафтного разнообразия обуславливает здесь многообразие фитоценозов, характеризующихся различными условиями увлажнения и параметрами почв (Волков и др., 2002).

Согласно (Горнов, 2018; Раменская, 1983; Сукачев, 1972), для исследуемой территории характерны следующие типы леса с сосной и елью в качестве доминантов верхнего полога³⁾:

- сосняки кустарничково-зеленомошные (сосняки чернично-зеленомошные, сосняки бруснично-зеленомошные, сосняки бруснично-вересково-зеленомошные, сосняки воронично-чернично-зеленомошные, сосняки чернично-багульниково-зеленомошные);
- сосняки долгомошно-сфагновые (сосняки чернично-зеленомошно-сфагновые, сосняки морошково-сфагновые, сосняки чернично-сфагновые);
- сосняки кустарничково-сфагновые (сосняки кустарничково-сфагновые, сосняки багульниково-сфагновые);
- сосняки лишайниковые (сосняки вересково-лишайниковые, сосняки воронично-бруснично-лишайниковые, сосняки бруснично-лишайниковые);
- сосняки зеленомошно-лишайниковые (сосняки зеленомошно-лишайниковые вересковые, сосняки зеленомошно-лишайниковые черничные, сосняки зеленомошно-лишайниковые брусничные);
- ельники кустарничково-зеленомошные (ельники чернично-зеленомошные, ельники кустарничково-зеленомошные, ельники бруснично-зеленомошные);
- ельники мелкотравно-зеленомошные (ельники кислично-папоротниковые, ельники папоротничково-зеленомошные, ельники чернично-мелкотравно-зеленомошные);
- ельники долгомошно-сфагновые (ельники чернично-сфагновые, ельники чернично-долгомошно-сфагновые);
- ельники эумезотрофнотравяно-сфагновые (ельники травяно-брусничные сфагновые).

Методика

Исследования проводились согласно Руководству по комплексному мониторингу (Руководство..., 2013) в ельниках кустарничково-зеленомошных и в сосняках кустарничково-зеленомошных силами сотрудников ФГБУ «ИГКЭ» и Дендрологического сада Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

³⁾ База данных «Ценофонд Европейской России», URL: <http://cepl.rssi.ru/bio/flora/princip.htm> (дата обращения 02.11.2024).

Названия видов приведены по источнику The Plant List (The Plant List, 2013).

Согласно Руководству (Руководство..., 2013) в границах стационара МСП КМ «Полярный круг» были заложены две пробные площади размером приблизительно 40 x 40 м в двух фитоценозах, репрезентативных для региона исследований. На каждой пробной площади случайным образом было распределено по 12 площадок (1x1 м) для описания подроста, травянисто-кустарничкового яруса и напочвенного ярусов.

Участки с нежелательными видами субстрата, например, в которых камень или бревно занимают значительную площадь, были исключены. На пробных площадках отсутствовали последствия нежелательного внешнего воздействия (например, внедрения инвазивных видов или вытаптывания).

Растительность пробных площадок была разделена на ярусы в соответствии с морфологией и высотой:

- древесный ярус – деревья высотой более 5 м;
- возобновление (подрост) – деревья высотой 1-5 м;
- травянисто-кустарниковый ярус – кустарники, кустарнички, другие сосудистые растения;
- напочвенный ярус – мхи и лишайники.

Согласно данной классификации, древесные виды могут присутствовать как в ярусе деревьев, так и в травянисто-кустарниковом ярусе.

Основной измеряемый параметр травянистого и напочвенного ярусов – это проективное покрытие для каждого вида (в %). Кроме того, для кустарничково-травянистого яруса были определены следующие показатели: обилие по Друде (Drude, 1890), проективное покрытие (%), фенологическое состояние, жизненность по (Braun-Blanquet, Pavillard, 1922), жизненная форма по (Raunkiaer, 1905; Raunkiaer, 1907).

Описание растительности на пробной площади № 1 (далее – ПП1) было сделано 30.09.2019. Описание растительности на пробной площади № 2 (далее – ПП2) было сделано 24.09.2019.

Результаты и обсуждение

Ельники кустарничково-зеленомошные, расположенные в северной тайге, относятся к двум ассоциациям различных союзов (класс *Vaccinio-Piceetea*, порядок *Piceeta liaexcelsae* Pawlowski in Pawlowski et al., 1928)³. В древесном ярусе ельников кустарничково-зеленомошных доминирует *Picea abies* с примесью *Betula pubescens* (рис. 1). Ярус подроста включает *P. abies*, *B. pubescens*, *Sorbus aucuparia*. Кустарники представлены *Juniperus communis*. В травяно-кустарничковом ярусе господствуют *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Solidago virgaurea*, *Linnaea borealis* и т.д. В мохово-лишайниковом ярусе доминируют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum scoparium*. В микропонижениях отмечены виды рода *Sphagnum*. Участие лишайников в составе яруса незначительно.

ПП1 была заложена в ельнике с сосной черничном. Величина ПП1 составила 100 м². Пробная площадь расположена на склоне к морю северной экспозиции (уклон 10°). Микрорельеф формируют кочки, впадины.

Для ПП1 характерно атмосферное увлажнение, отмечен сток по склону. Исследуемая фитоассоциация приурочена к влажному биотопу. Мертвый покров отсутствует. Подстилка состоит из мха, опада. Характерны подзолы, а также выходы базальта.



Рисунок 1. Ельник кустарничково-зеленомошный

Figure 1. Shrub-green moss spruce forest

Группа сосняков кустарничково-зеленомошных относится к классу *Vaccinio-Piceetea*, порядку *Piceeta liaexcelsae* Pawlowski in Pawlowski et al. (1928) и союзу *Piceionexelsae* Pawlowski in Pawlowski et al. (1928)³. Сосняки кустарничково-зеленомошные характеризуются доминированием *P. sylvestris* в древесном ярусе. В качестве примеси отмечены *B. pendula*, *B. pubescens*, *P. abies* и др. Ярус подроста состоит из *B. pendula*, *B. pubescens*, *P. abies*, *P. sylvestris*. Кустарниковый ярус включает *J. communis*, *S. aucuparia*, *S. caprea* и др. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *E. nigrum*, *L. palustre*, *Calluna vulgaris*, характерны *L. borealis*, *Lycopodium annotinum*, *Luzula pilosa*, *Equisetum sylvaticum*. Мохово-лишайниковый ярус включает зеленые мхи: *H. splendens*, *P. schreberi*, *Dicranum* sp. Лишайники немногочисленны (рис. 2).

Экосистема ПП2 представляет собой сосняк с примесью березы черничный беломошно-зеленомошный. Величина ПП2 равна 100 м². Пробная пло-

щадь размещена на склоне северной экспозиции (уклон 40°). Микрорельеф сформирован кочками, впадинами.



Рисунок 2. Сосняк кустарничково-зеленомошный

Figure 2. Shrub-green moss pine forest

Условия увлажнения – атмосферное, отмечен сток по склону. Рассматриваемый древостой произрастает в свежем биотопе. Мертвый покров отсутствует. Фитоассоциация приурочена к подзолам.

Описание древостоя на ПП1 и ПП2 представлено в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика древостоя на пробных площадях МСП КМ

Table 1. Stand characteristics of the ICP IM sites

	ПП1	ПП2
Преобладающая порода	<i>Picea abies</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
Степень сомкнутости крон	0.4	0.2
Ярус	1	1
Число деревьев	20	20
Состав по числу	20 <i>P. abies</i>	20 <i>P. sylvestris</i>
Состав по массе	100% <i>P. abies</i>	100% <i>P. sylvestris</i>
Диаметр стволов	29 см	31 см
Высота	7.23 м	11.6 м
Диаметр крон	2.18 м	3.2 м
Подлесок	нет	нет

Возобновление древостоя учитывалось на площадках размером 2 м² в границах ПП1 и ПП 2. Характеристика подроста на пробных площадях МСП КМ представлена в табл. 2.

Таблица 2. Возобновление древостоя на пробных площадях МСП КМ

Table 2. Forest stand renewal on the ICPIM sites

№ площадки	ПП1		ПП2	
	Порода	Количество экземпляров	Порода	Количество экземпляров
1	<i>P. sylvestris</i>	1	<i>P. sylvestris</i>	6
2	<i>Betula pubescens</i>	1	<i>P. sylvestris</i>	1
			<i>Populus tremula</i>	1
3	<i>P. abies</i>	1	<i>P. sylvestris</i>	2
4	<i>P. abies</i>	1	<i>P. sylvestris</i>	4
	<i>Sorbus aucuparia</i>	1		
5	<i>Picea abies</i>	1	<i>P. sylvestris</i>	3
	<i>S. aucuparia</i>	1		

Описание травянисто-кустарничкового яруса было сделано на пробных площадках размером 1x1 м, расположенных случайным образом. Характеристика травянисто-кустарничкового покрова представлена в табл. 3.

Были определены классы встречаемости травянисто-кустарничковых видов на пробных площадках. Данные классы вычисляются как % площадок, на которых встречен данный вид вне зависимости от численности. Результат этих работ представлен в табл. 4.

Как было указано выше, для представителей кустарничково-травянистого яруса ельника кустарничково-зеленомошного (ПП1) и сосняка кустарничково-зеленомошного (ПП2) были определены следующие показатели (табл. 5): обилие по Друде (Drude, 1890), проективное покрытие (%), фенологическое состояние, жизненность по (Braun-Blanquet, Pavillard, 1922), жизненная форма по (Raunkiaer, 1905; Raunkiaer, 1907).

На двух исследованных пробных площадях (как в ельнике кустарничково-зеленомошном, так и в сосняке кустарничково-зеленомошном) общее проективное покрытие растительности составляет 100%. Аспект отмечен желто-зелёный. Разделение на подъярусы отсутствует.

Полученные для пробных площадей МСП КМ характеристики древостоев, возобновления, травянисто-кустарничкового и наземного ярусов типичны для мало нарушенных северо-таёжных фитоассоциаций и свидетельствуют о низком уровне антропогенного воздействия на рассматриваемые биогеоценозы. Результаты оценки состояния изучаемых экосистем согласуются с опубликованными ранее сведениями о растительности данного района (Кучеров, 2014; Черненькова и др., 2012).

Таблица 3. Травянисто-кустарничковый покров на пробных площадях МСП КМ.

Table 3. Herbaceous-shrubby cover on the ICP IM sites

№ пло- щадки	ПП1		ПП2	
		Проективное покрытие		Проективное покрытие
1	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	100%	<i>Vaccinium myrtillus</i>	40%
			<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	30%
			<i>Calluna vulgaris</i>	5%
			<i>Pleurozium schreberi</i>	90%
			<i>Cladonia sp.</i>	10%
2	<i>Vaccinium myrtillus</i>	100%	<i>Ledum palustre</i>	30%
			<i>V. myrtilis</i>	20%
			<i>V. vitis-idaea</i>	20%
			<i>P. schreberi</i>	90%
			<i>Cladonia sp.</i>	10%
3	<i>V. vitis-idaea</i>	70%	<i>V. vitis-idaea</i>	60%
			<i>V. myrtilis</i>	5%
			<i>C. vulgaris</i>	20%
			<i>P. schreberi</i>	80%
			<i>Cladonia sp.</i>	20%
4	<i>V. vitis-idaea</i>	50%	<i>V. vitis-idaea</i>	10%
			<i>P. schreberi</i>	90%
			<i>Cladonia sp.</i>	10%
			<i>Chamaenérion angustifolium</i>	100%
	<i>V. myrtillus</i>	50%	<i>V. vitis-idaea</i>	20%
			<i>V. myrtilis</i>	20%
			<i>C. vulgaris</i>	10%
			<i>P. schreberi</i>	100%
5	<i>V. vitis-idaea</i>	70%	<i>C. vulgaris</i>	40%
			<i>V. vitis-idaea</i>	30%
	<i>Hylocomium splendens</i>	100%	<i>V. myrtilis</i>	10%
			<i>P. schreberi</i>	100%
6	<i>V. myrtillus</i>	100%	<i>C. vulgaris</i>	30%
			<i>V. vitis-idaea</i>	5%
			<i>V. myrtilis</i>	50%
			<i>P. schreberi</i>	100%
7	<i>V. vitis-idaea</i>	100%	<i>C. vulgaris</i>	30%
			<i>V. vitis-idaea</i>	5%
			<i>V. myrtilis</i>	50%
			<i>P. schreberi</i>	100%

Таблица 4. Классы встречаемости видов на пробных площадях МСП КМ

Table 4. Species occurrence classes on the ICP IM sites

III1		III2	
Вид	Класс встречаемости	Вид	Класс встречаемости
<i>V. myrtillus</i>	1	<i>V. vitis-idaea</i>	1
		<i>V. myrtilis</i>	1
		<i>C. vulgaris</i>	4
<i>V. vitis-idaea</i>	1	<i>L. palustre</i>	4
		<i>Ch. angustifolium</i>	4
<i>H. splendens</i>	1	<i>P. schreberi</i>	1
		<i>Cladonia sp.</i>	1

Таблица 5. Показатели состояния кустарничково-травянистого яруса на пробных площадях МСП КМ

Table 5. Shrub-herb layer state indicators on the ICP IM sites

	Видовой состав	Оби- лие	Проек- тивное покры- тие, %	Фенологическое состояние	Жизнен- ность по (Браун- Бланке и Павияр, 1922)	Жизненная форма по (Раункьер, 1905, 1907)
III1	<i>V. myrtillus</i>	soc	36	вегетация после плодоношения	2	фанерофит
	<i>V. vitis-idaea</i>	soc	56	вегетация после плодоношения	2	фанерофит
	<i>H. splendens</i>	soc	14	вегетация после плодоношения	-	хамефит
III2	<i>V. vitis-idaea</i>	soc	25	вегетация после	2	фанерофит
	<i>V. myrtilis</i>	soc	21	вегетация после плодоношения	2	фанерофит
	<i>C. vulgaris</i>	sp	15	вегетация после плодоношения	2	фанерофит
	<i>L. palustre</i>	sp	4	вегетация после плодоношения	2	фанерофит
	<i>Ch. angustifolium</i>	sp	1	вегетация после плодоношения	2	фанерофит
	<i>P. schreberi</i>	soc	93	-	2	хамефит
	<i>Cladonia sp.</i>	cop2	7	-	2	хамефит

Стационар МСП КМ заложен в заказнике регионального значения «Полярный круг», который учрежден в 1990 году с целью охраны имеющегося ландшафта и биоразнообразия и, совместно с государственным охотничьим заказником «Керетский⁴⁾», играет роль буферной зоны Кандалакшского

⁴⁾ Постановление Совета Министров Карельской АССР № 62 от 23.02.1990

государственного природного заповедника. Для района расположения системы указанных ООПТ характерно наличие ненарушенных бореальных экосистем, что даёт возможность проводить на изучаемой территории много-летний фоновый мониторинг.

Заключение

Как было указано выше, при выявлении откликов бореальной биоты на воздействия внешней среды следует учитывать характер изучаемых местообитаний и типов леса. Для получения необходимых сведений с использованием методов МСП КМ осуществлено описание аборигенной растительности на пробных площадях стационара МСП КМ на территории комплексного заказника регионального значения «Полярный круг». Получены параметры древостоев, подростов, травянисто-кустарничкового и наземного ярусов на рассматриваемых участках. Определены классы встречаемости видов на пробных площадях, а также их обилие, проективное покрытие, фенологическое состояние, жизненность, жизненная форма. Сделан вывод о высоком уровне ненарушенности экосистем заказника «Полярный круг».

Полученные результаты послужат основой для многолетнего фонового мониторинга растительности на данном стационаре МСП КМ и позволят выявить динамику состояния фитоассоциаций под воздействием внешних факторов.

Список литературы

- Алисов, Б.П. (1956) *Климат СССР*, М., Изд. Моск. ун-та, 128 с.
- Берг, Л.С. (1922) *Климат и жизнь*, Госиздат, М., 157 с.
- Волков, А.Д., Белоногова, Т.В., Курхинен, Ю.П. и др. (2002) *Фактор биоразнообразия и комплексная продуктивность лесных экосистем северо-запада таежной зоны европейской части России*, Петрозаводск, КарНЦ РАН, 223 с.
- Горнов, А.В. (2018) Классификация лесов с использованием определителя типов леса Европейской России (на примере Карелии и Карельского перешейка), *Вопросы лесной науки*, № 1, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-lesov-s-ispolzovaniem-opredelatelya-tipov-lesa-evropeyskoy-rossii-na-primere-karelii-i-karelskogo-peresheyka> (дата обращения: 26.12.2024).
- Кучеров, И.Б. (2014) Зеленомошные (черничные) сосняки средней и северной тайги Европейской России: обзор ценоотического разнообразия, *Труды КарНЦ РАН*, № 2, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenomoshnye-chernichnye-sosnyaki-sredney-i-severnoy-taygi-evropeyskoy-rossii-obzor-tsenoticheskogo-raznoobraziya> (дата обращения: 13.02.2025).
- Раменская, М.Л. (1983) *Анализ флоры Мурманской области и Карелии*, Л., Наука, Ленингр. отд-ние, 215 с.
- Руководство по комплексному мониторингу* (2013) Перевод с английского, М., ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», URL: <http://downloads.igce.ru/>

publications/ICP_IM_Manuals/Manual_rus_04122013.pdf. (дата обращения: 26.12.2024).

Сукачёв, В.Н. (1972) *Избранные труды в трех томах: Основы лесной типологии и биогеоценологии*, под ред. Е.М. Лавренко, Л., Наука, т. 1, 419 с.

Черненкова, Т.В., Королева, Н.Е., Басова, Е.В. (2012) Методологические предпосылки создания типологии растительного покрова Мурманской области для последующего картографирования, *Известия Самарского научного центра РАН*, № 1-4, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-predposylki-sozdaniya-tipologii-rastitelnogo-pokrova-murmanskoy-oblasti-dlya-posleduyuschego-kartografirovaniya> (дата обращения: 13.02.2025).

Braun-Blanquet, J., Pavillard, J. (1922) *Vocabulaire de Sociologie Végétale*, Montpellier, Roumégous et Déhan, 16 p.

Drude, O. (1890) *Handbuch der Pflanzen geographie*, Stuttgart, J. Engelhorn, 582 p.

The Plant List (2013) URL: <http://theplantlist.org> (accessed: 02.11.2024).

Raunkiaer, C. (1905) Types biologiques pour la geographie botanique, *Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandling*, vol. 5, pp. 347-438.

Raunkiaer, C. (1907) *Planterigets Livsformer*, Og deres Betydning for Geografien, Koebenhavn og Kristiania, 133 p.

References

Alisov, B.P. (1956) *Klimat SSSR* [Climate of the USSR], Moscow, Russia, 128 p.

Berg, L.S. (1922) *Klimat i zhizn'* [Climate and life], Gosizdat, Moscow, Russia, 157 p.

Volkov, A.D., Belonogova, T.V., Kurhinen, Yu.P. et al. (2002) *Faktor bioraznoobraziya i kompleksnaya produktivnost' lesnykh ekosistem severo-zapada tayezhnoy zony yevropeyskoy chaste Rossii* [Biodiversity factor and complex productivity of forest ecosystems of the northwest taiga zone of the European part of Russia], Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia, 223 p.

Gornov, A.V. (2018) Klassifikatsiyalesov s ispol'zovaniyem opredelatelya tipov lesa Yevropeyskoy Rossii (na primere Karelii i Karel'skogo peresheyka) [Classification of forests using the identifier of forest types of European Russia (on the example of Karelia and the Karelian Isthmus)], *Voprosy lesnoy nauki* [Issues of forest science], no. 1, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-lesov-s-ispolzovaniem-opredelatelya-tipov-lesa-evropeyskoy-rossii-na-primere-karelii-i-karel'skogo-peresheyka> (accessed 26.12.2024).

Kuchеров, I.B. (2014) Zelenomoshnyye (chernichnyye) sosnyaki sredney i severnoy taygi Yevropeyskoy Rossii: obzor tsenoticheskogo raznoobraziya [Green-moss (bilberry) pine forests of the middle and northern taiga of European Russia: a

review of cenotic diversity], *Trudy KarNTS RAN* [Transactions of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences], no. 2, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenomoshnye-chernichnye-sosnyaki-sredney-i-severnoy-taygi-evropeyskoy-rossii-obzor-tsenoticheskogo-raznoobraziya> (accessed 13.02.2025).

Ramenskaya, M.L. (1983) *Analiz flory Murmanskoy oblasti Karelii* [Analysis of the flora of the Murmansk region and Karelia], Science, Leningrad branch, Leningrad, Russia, 215 p.

Rukovodstvo po kompleksno mumonitoringu [Guide to Integrated Monitoring] (2013). Perevod s angliyskogo [Translation from English], Moscow, FGBU "IGKE Roshydromet and RAS", Russia, URL: http://downloads.igce.ru/publications/ICP_IM_Manuals/Manual_rus_04122013.pdf (accessed 26.12.2024).

Sukachyov, V.N. (1972) *Izbrannyetrudy v trekhtomah: Osnovy lesnoj tipologii i biogeocenologii* [Selected works in three volumes: Fundamentals of Forest Typology and Biogeocenology], in E.M. Lavrenko (ed.), vol. 1, Science, Leningrad, Russia, 419 p.

Chernenkova, T.V., Koroleva, N.E., Basova, E.V. (2012) Metodologicheskiye predposylki sozdaniya tipologii rastitel'nogo pokrova Murmanskoy oblasti dlya posleduyushchego kartografirovaniya [Methodological prerequisites for creating a typology of vegetation cover in the Murmansk region for subsequent mapping], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 1-4, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologicheskie-predposylki-sozdaniya-tipologii-rastitelnogo-pokrova-murmanskoy-oblasti-dlya-posleduyushchego-kartografirovaniya> (accessed 13.02.2025).

Braun-Blanquet, J., Pavillard, J. (1922) *Vocabulaire de Sociologie Végétale*, Montpellier, Roumégous et Déhan, 16 p.

Drude, O. (1890) *Handbuch der Pflanzen geographie*, Stuttgart, J. Engelhorn, 582 p.

The Plant List (2013) URL: <http://theplantlist.org> (accessed: 02.11.2024).

Raunkiaer, C. (1905) Types biologiques pour la geographie botanique, *Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandling*, vol. 5, pp. 347-438.

Raunkiaer, C. (1907) *Planterigets Livsformer*, Og deres Betydning for Geog-rafien, Koebenhavn og Kristiania, 133 p.

Статья поступила в редакцию (Received): 02.01.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2025.

Для цитирования / For citation:

Кухта, А.Е., Махрова, Т.Г., Шерстнева, Е.А. (2025) Аборигенная растительность на стационаре Международной совместной программы комплексного мониторинга на территории заказника регионального значения «Поляр-

ный круг», *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1-2, с. 65-78, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-65-78.

Koukhta, A.E., Makhrova, T.G., Sherstneva, E.A. (2025) Native vegetation on the International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM) site on the Polar Circle Regional Reserve Territory, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXVI, no. 1-2, pp. 65-78, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-65-78.

Влияние стронция на половозрелую молодь *Danio rerio*

Э.В. Бабаева*, М.А. Федорова, С.В. Губайдулина, В.С. Фролова,
А.Г. Тригуб, М.В. Медянкина

ФГБОУ ВО «Московский государственный Университет
Технологий и Управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)»,

119049, г. Москва, ул. Шаболовская 14, ст.9, Российская Федерация

*Адрес для переписки: 79263841762@ya.ru

Аннотация. В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований оценки воздействия стронция на функционирование организма половозрелой молодки *Danio rerio*. Проведено определение недействующей, пороговой и максимальной концентрации стронция, параметров токсичности и степени токсичности. Для половозрелой молодки *D. rerio* максимально допустимая¹⁾ (недействующая) концентрация стронция по показателю выживаемости составила 25.0 мг/л, пороговая²⁾ (при которой было достоверно отмечено воздействие) концентрация – 50.0 мг/л. По результатам гематологического анализа, можно заключить, что недействующая концентрация стронция для *D. rerio* составляет 10.0 мг/л.

Ключевые слова. Стронций, токсичность, гидробионты, выживаемость, гематологический анализ, гистологический анализ.

The effect of strontium on mature juveniles *Danio rerio*

E.V. Babaeva*, M.A. Fedorova, S.V. Gubaidullina, V.S. Frolova,
A.G. Tregub, M.V. Medyankina

Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (MCU),
Moscow, 14, Shabolovskaya St., station 9, Russian Federation

*Correspondence address: 79263841762@ya.ru

Abstract. This article presents the results of experimental studies valuating the effects of strontium on the functioning of mature *D. rerio* juveniles. The inactive, the shold, and maximum strontium concentrations, to xicity parameters, and degree of acutetoxicity were determined. As aresult of the conductedre search, data on the effect of strontium on hydrobionts of various strophicunits were obtained. Formature *D. rerio*, the survival rate at the maximum allowable strontium

¹⁾максимально допустимая концентрация вещества в воде – это концентрация, при которой в одном объекте не возникают последствия, снижающие его рыбохозяйственную ценность (в ближайшее время и в перспективе) или затрудняющие его рыбохозяйственное использование при постоянстве этой концентрации в воде водного объекта.

²⁾пороговая концентрация – минимальная концентрация вещества, вызывающая достоверные изменения в организме.

concentration was 25.0 mg/l, at the threshold concentration – 50.0 mg/l. According to the results of hematology calanalysis, it can be concluded that the inactive strontium concentration for *D. Reriois* 10.0 mg/l.

Keywords. Strontium, toxicity, hydrobionts, survival, hematological analysis, histological analysis.

Введение

Стронций является постоянным компонентом гидросферы Земли. Поведение стронция в водной среде зависит от множества факторов. Первостепенное значение имеет его содержание в породах и почвах водосборного бассейна, либо водовмещающих породах (для подземных и грунтовых вод) (Мур, 1987). Изучение содержания стронция в почвенной и грунтовой воде показало, что содержание стронция в природной воде последовательно увеличивается в ряду: атмосферные осадки («следовые» количества стронция), вода поверхностного стока (2.5 мг/дм³), почвенная вода (7 мг/дм³), озёрная вода (23 мг/дм³) (Власов, 1973). В воде рек находится меньше 10-5% этого элемента (0.1 мг/дм³) (Виноградов, 1957).

Источниками стронция в природных водах являются горные породы, наибольшие количества его содержат гипсоносные отложения. Низкая концентрация стронция в природных водах объясняется слабой растворимостью их сернокислых соединений (растворимость SrSO₄ при 18°C составляет 114 мг/дм³). В пресных водах концентрация стронция обычно намного ниже 1 мг/дм³ и выражается в микрограммах на литр. Встречаются районы с повышенной концентрацией этого иона в водах. Подземные воды основное количество стронция получают из почвенных горизонтов в результате инфильтрации атмосферной влаги сквозь почвогрунты. В подземных водах биосферы содержание стронция в значительной мере контролируется их сульфатностью: в связи с низкой растворимостью целестина им бедны сульфатные воды. Наоборот, в подземных хлоридных водах условия для миграции стронция благоприятны в связи с отсутствием в них осадителя металла – сульфат-ионов SO₄²⁻. По этой причине глубинные хлоридные пластовые воды артезианских бассейнов часто обогащены стронцием. При тектонических поднятиях подобные воды по разломам местами поступают в верхние структурные этажи земной коры и смешиваются с сульфатными водами, где формируется сульфатный барьер, на котором вместе с гипсом осаждаются целестин (Перельман, 1982). Будучи близок к кальцию по химическим свойствам, стронций резко отличается от него по своему биологическому действию. Избыточное содержание этого элемента в природных водах вызывает "уровскую болезнь" у человека и животных (по названию реки Уров в Восточном Забайкалье) – поражение и деформацию суставов, задержку роста и др. Хроническое поступление стронция в водную среду вызывает накопление металлов в живых организмах и представляет для них серьезную опасность из-за выраженной способности этого токсичного элемента к накоплению в тканях, особенно костной. Стронций (Sr) представляет серьезную опасность для рыб

из-за его структурного сходства с кальцием (Ca), которое обуславливает способность Sr замещать Ca в костной и других тканях. Следствием этого является нарушение обмена кальция в организме, а также его участия в кальций-зависимых метаболических процессах.

Иностранцами учеными были проведены некоторые исследования (Pasqualetti, Banfi, Mariotti, 2013) по влиянию стронция на костные ткани рыб *D. rerio* с целью анализа возможности лечения болезней костей у человека препаратами, содержащими изотопы данного металла. Однако эффект, оказываемый стронцием на особей *D. rerio*, изучен недостаточно глубоко.

Цель настоящей работы – необходимость изучения влияния стронция на половозрелую молодь *D. rerio*. Для достижения цели были поставлены задачи: исследовать влияние стронция на качество воды, изучить влияние на представителей водной экосистемы – на чувствительные тест-объекты, прежде всего – на половозрелую молодь *D. rerio*, выявить лимитирующие звенья.

Материалы и методы исследования

Определение влияния вещества на взрослых рыб проводили на половозрелой молоди *D. rerio*. Хронические опыты продолжительностью 30 суток проводили в аквариумах объемом 5.0 л. Температура воды в течение всего исследования составляла 24.0-24.5°C. Периодичность освещенности составляла 12 часов – свет, 12 часов – без света. Для определения плотности посадки, был измерен вес рыб. Средний вес особи размером 2.4-2.6 см перед посадкой в опыт в среднем составлял 0.23 г.

По окончании опытов рассчитывали параметры хронической токсичности: выживаемость, нарушения покровов тела, а также изменения морфофизиологических параметров. В хронических опытах изучали поведение и клиническую картину отравления рыб, гематологические, патологоанатомические и гистологические показатели.

Из гематологических показателей исследовали: количество эритроцитов и лейкоцитов, интенсивность кроветворения, морфологическую картину эритроцитов, лейкоцитарную формулу.

Кровь у рыб отбирали из хвостовой артерии на 30-е сутки опытов. Подсчет эритроцитов и лейкоцитов проводили счетным методом под микроскопом. Мазки фиксировались 96% этиловым спиртом. Окраску мазков проводили по Романовскому с добавлением фосфатного буфера, в соответствии с протоколом производителя (11 мл красителя и 0.4 мл концентрата буфера на 70 мл воды) в течение 30 минут. Затем смывали водой и высушивали на воздухе. Клетки изучали под иммерсией при увеличении $\times 630$ и $\times 900$ (микроскоп «Микмед-1»). Для определения интенсивности кроветворения на мазках крови, окрашенных по Паппенгейму, вычисляли процент незрелых форм эритроцитов. Лейкоциты идентифицированы согласно работам Н.Т. Ивановой (1983) и Т.П. Глаголевой (1985).

Отбор материала на гистологический анализ проводили в дни отбора проб на гематологические исследования от одних и тех же экземпляров рыб.

Патологоанатомические и гистологические исследования проводили по общепринятой в ихтиопатологии схеме. Перед взятием образцов тканей для каждой исследованной особи был проведен внешний осмотр: изменение внешних покровов, их цвет и блеск, наличие повреждений чешуи, состояние глаза, цвет жабр, состояние плавников и хвоста.

Затем произведено патологоанатомическое исследование с оценкой состояния внутренних органов. В результате исследования проведена сравнительная визуальная оценка жабр и печени у экспериментальных особей *D. rerio*, как при содержании в чистой воде, так и при различных концентрациях токсического вещества.

Для гистологического анализа от каждой особи было вырезано 2 образца ткани (жабры и печень). Фиксацию образцов в 4%-ном растворе формальдегида и гистологический анализ проводили согласно стандартным методикам (Роскин, Левинсон, 1957), модифицированным во ВНИРО (Микодина и др., 2009). Гистологическую проводку зафиксированного материала проводили через автомат карусельного типа STP-120 для последовательной дегидратации в спиртах восходящей концентрации (ксилоле и этаноле); заливку в парафин осуществляли на заливочной станции Thermo Fisher Scientific. Срезы толщиной 5 мкм получали на санном полуавтоматическом микротоме Microm и окрашивали готовой смесью гематоксилин-эозина по Эрлиху. Для фотографирования микропрепаратов в лабораторных условиях использовали микроскоп Olympus BX45 с цифровой видеокамерой Olympus DP25 и программу DC Viewer. Фотографии получали при увеличении окуляра 10× и объективов 20× и 40×. Все исследования проводили на фоне контроля в аналогичных условиях. На основании результатов исследований устанавливали пороговую и недействующую концентрации.

Результаты и обсуждение

Исследование влияния стронция в концентрациях от 10.0 до 150.0 мгSr/л на выживаемость взрослых особей рыб проводили на половозрелых особях данио (*D. rerio*). Продолжительность опыта составила 30 суток. Динамика выживаемости представлена в табл. 1.

Таблица 1. Влияние стронция на рыб при хроническом воздействии стронция

Table 1. Effect of strontium on fish under chronic exposure to strontium

Концентрация, мгSr/л	Объем выборки (особи), шт.	Выживаемость рыб			p	p*
		экз.	%	m		
Контроль	15	15	100	6.25	-	-
10	15	15	100	6.25	-	-
25	15	13	86.67	9.09	0.241	0.241
50	15	11	73.33	11.82	0.05	0.1
100	15	8	53.33	13.33	0.003	0.009
150	15	6	40	13.09	0	0.001

Примечание: жирным шрифтом выделены фактические значения критерия Стьюдента, которые выше статистических, что указывает на статистическую значимость выявленных различий между средними значениями показателя; *m* – доверительный интервал; *p* – значение точного теста Фишера; *P** – значение точного теста Фишера с поправкой Бонферрони-Холма

По результатам исследования хронического воздействия стронция в диапазоне исследуемых концентраций достоверное влияние на выживаемость выявлено в концентрациях от 50.0-100.0 мг/л.

Клинический и патологоанатомический анализ

Оценка влияния соединения стронция на ткани и органы данио была проведена с использованием визуального и гистологического методов. Исследования проводили на рыбах, выдержанных 30 суток в следующих концентрациях стронция: 10; 25; 50; 100 и 150 мг/л. Окраска тела данио из контроля и всего исследованного диапазона концентраций на 30 сутки нормальная, кожные покровы без нарушений. Вскрытие *D. rerio* из контроля эксперимента и концентраций 10-25 мг/л не выявило каких-либо визуально определяемых изменений в органах и тканях. У особей из концентрации 50 мг/л отмечено изменение цвета селезенки.

Гистологический анализ

В гистологической картине жабр из контроля и в концентрациях стронция от 25 до 150 мг/л отмечена гиперплазия респираторного эпителия и очаги фиброза (рис. 1).

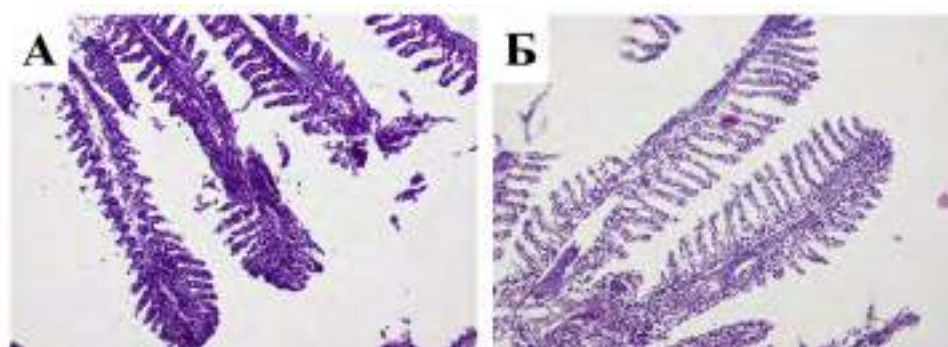


Рисунок 1. Гистологическая картина жабр: легкая гиперплазия и фиброз жаберного эпителия в концентрации 25 мг/л (А) и 150 мг/л (Б). Увеличение 10х×20х

Figure 1. Histological pattern of the gills: mild hyperplasia and fibrosis of the gill epithelium at a concentration of 25 mg/l (A) and 150 mg/l (B). Magnification 10x × 20x

В печени данио из контроля и концентраций 10 и 25 мг/л гистологическое строение в целом соответствовало норме. В органах рыб, выдержанных в концентрациях препарата от 50 до 150 мг/л присутствовала жировая дистрофия и очаги некроза (рис. 2).

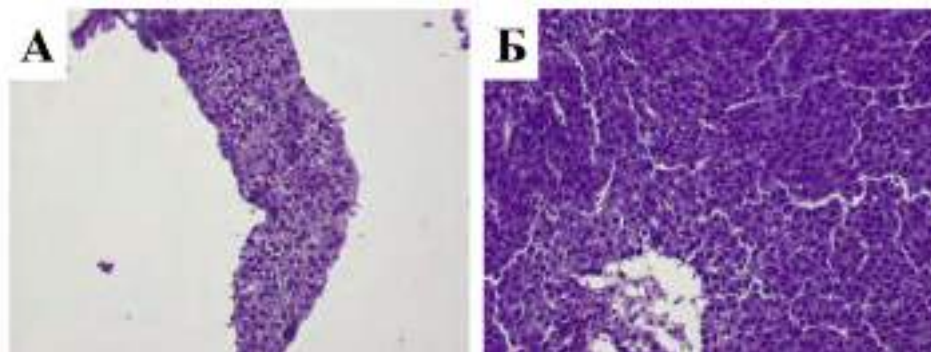


Рисунок 2. Гистологическая картина печени концентрации 25 мг/л (А) 100 мг/л (Б)
Увеличение 10х×40х

Figure 2. Liver histology 25 mg/L (A) 100 mg/L (B)
Increase 10x × 40x

Гематологический анализ

Для гематологического анализа кровь у *D. rerio* брали из хвостовой артерии. Определяли количество эритроцитов, интенсивность кроветворения, лейкоцитарную формулу, морфологическую картину эритроцитов. Подсчет эритроцитов осуществляли в камере Горяева. Клетки изучали под иммерсией при увеличении $\times 630$ и $\times 900$ (микроскоп «OLYMPUS»). Для определения интенсивности кроветворения на мазках крови, окрашенных по Романовскому-Гимза, вычисляли процент незрелых форм эритроцитов. Лейкоциты идентифицированы согласно работам Н.Т. Ивановой (1983) и Т.П. Глаголевой (1985). Исследования проводили на рыбах, выдержанных более 30 суток в следующих концентрациях стронция: 10; 25; 50; 100 и 150 мг/л. Проведенный гематологический анализ у *D. rerio* из контрольной группы показал обычное, нормальное состояние особей. Показатели периферической крови следующие: количество эритроцитов у контрольной группы составило 3.10 ± 0.06 млн/мм³ (табл. 2). При изучении мазков крови установлены: нормативная структура эритроцитов, интенсивность кроветворения и лейкоцитарная формула. Зрелые эритроциты эллипсоидной формы с округлым, слегка вытянутым ядром, повторяющим форму клетки. Окраска ядра фиолетовая, темная. Незрелые эритроциты (бластные формы) встречаются редко и составляют менее 1% от общего количества эритроцитов. Лейкоцитарная формула, так же, как и у других видов рыб носит лимфоидный характер – $91.17 \pm 0.88\%$, моноциты и нейтрофилы составляют 4.00 ± 0.58 и $4.83 \pm 0.33\%$, соответственно (контроль, табл. 3), однако доля лейкоцитов не так велика ($<95\%$), что объясняется видовыми особенностями исследуемых особей.

Таблица 2. Эритрограмма *D. rerio* после воздействия соединения стронция (в млн/мкл)

Table 2. Erythrogram of *D. rerio* after exposure to strontium compound (in ppm)

Показатель	Концентрация (млн/мкл)					
	Контроль	10	25	50	100	150
М ± m	3.10±0.06	3.09±0.04	2.89±0.09	2.87±0.08	2.83±0.05	2.71±0.20
% к контролю	-	99.57	93.23	92.58	91.29	87.42

М – среднее значение показателя, m – ошибка среднего

Таблица 3. Лейкоцитарная формула крови *D. rerio* после хронического воздействия соединений стронция

Table 3. Blood leukocyte formula *D. rerio* after chronic exposure to strontium compounds

Лейкоциты, %	Среднее, ош. среднего	Доля, %					
		Контроль	10	25	50	100	150
Лимфоциты	М	91.17	90.50	87.33	84.67	78.16	72.48
	±m	0.88	1.15	0.33	0.88	6.36	2.36
	% к контролю	-	99.27	95.79	92.87	85.74	79.50
Моноциты	М	4.00	4.00	5.00	5.33	6.99	8.67
	±m	0.58	0.58	0.00	0.88	1.07	1.86
	% к контролю	-	100.00	125.00	133.33	174.75	216.67
Нейтрофилы	М	4.83	5.50	7.67	10.00	12.03	13.17
	±m	0.33	1.73	0.33	1.53	1.08	5.78
	% к контролю	-	113.87	158.73	207.04	243.12	272.60

М – среднее значение показателя, m – ошибка среднего

Изучение статистически значимого количества полей зрения на мазках крови рыб, выдержанных в разных концентрациях (10-150 мгSr/л) (табл. 3) показало наличие серьезных отклонений от рыб контрольной группы при концентрациях выше 50 мг/л, по отношению к крови контрольной группы (табл. 3; рис. 3А). При концентрации токсиканта 10 мг/л и контроле изученные параметры находятся в пределах нормы для данного вида (Murtha et al., 2003), однако при больших концентрациях наблюдается увеличение доли моноцитов и нейтрофилов (табл. 3), что свидетельствует о сильной реакции организма на воздействие токсиканта, выражающееся, по-видимому, в возникновении очагов воспаления и дегенерации тканей.

Форма клеток и ядер эритроцитов, состояние цитоплазмы и другие цитологические характеристики, доступные для анализа при использовании световой микроскопии, в большинстве концентраций не отличаются от контроля. При концентрации 150 мг/л у 5-7% эритроцитов наблюдаются искажения формы клеток и более блеклая окраска ядра.

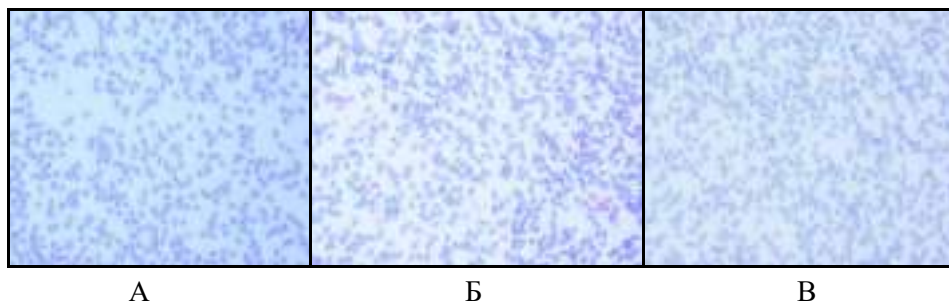


Рисунок 3. Мазки крови *D. rerio* (А – контроль; Б – исследуемая концентрация 25 мг/л; В – исследуемая концентрация 150 мг/л).

Figure 3. *D. rerio* blood smears (A, control; B – test concentration of 25 mg/l; B = test concentration of 150 mg/L).

Заключение

По результатам исследования был выявлен показатель выживаемости при воздействии стронция на половозрелую молодь рыб в хроническом воздействии: максимально допустимая концентрация (МДК) составила 25.0 мг/л, пороговая концентрация – 50 мг/л. По *клиническим и патологоанатомическим* показателям недействующая концентрация стронция для данио составила 25.0 мг/л. *Гистологический анализ* показал, что максимально возможная концентрация стронция для данио составляет 10 мг/л. При концентрации стронция 25.0 мг/л и более возникает гематологическая реакция на воздействие токсиканта. По результатам гематологического анализа, можно заключить, что недействующая концентрация стронция для *D. rerio* составляет 10.0 мг/л.

Полученные результаты можно использовать в дальнейшем для обоснования регионального норматива ПДК для вод с природными особенностями и для совершенствования методологии разработки региональных нормативов.

Список литературы

Виноградов, А.П. (1957) *Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах*, М., Изд. АН СССР, 238 с.

Власов, М.А. и др. (1973) *Бор и стронций в почвенных и грунтовых водах и минеральных озерах соленакопления Восточной Сибири. Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока*, Улан-Удэ, с. 113-117.

Глаголева, Т.П. (1985) *Инструкция по клиническому анализу крови молоди лососевых рыб в условиях рыбоводных хозяйств с целью оценки их физиологического состояния и дифференциальной диагностики заболеваний*, Рига, Изд-во БалтНИИРХ, 48 с.

Иванова, Н.Т. (1983) *Атлас клеток крови рыб*, М., Лег. и пищ. пром-сть, 184 с.

Микодина, Е.В., Седова, М.А., Чмилевский, Д.А., Микулин, А.Е., Пьянова, С.В., Полуэктова, О.Г. (2009) *Гистология для ихтиологов, опыт и советы*, М., ВНИРО, 112 с.

Мур, Дж.В. (1987) *Тяжелые металлы в природных водах*, М., Мир, 488 с.

Перельман, А.И. (1982) *Геохимия природных вод*, М., Наука, 154 р.

Роскин, Г.И., Левинсон, Л.Б. (1957) *Микроскопическая техника*, М., Советская наука, 467 с.

Murtha, Jill, M., Evan, T. Keller. *Characterization of the heat shock response in mature zebrafish (Danio rerio)*, электронный ресурс, URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12814804/> (Дата обращения: 07.10.2024)

Sara Pasqualetti, Giuseppe Banfi, Massimo Mariotti, University of Milan, Italy. *The effects of strontium on skeletal development in zebrafish embryo*, электронный ресурс, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0946672X13000928?via%3DiHu> (Дата обращения: 07.10.2024).

References

Vinogradov, A.P. (1957) *Geohimiya redkih I rasseyannykh himicheskikh elementov v pochvah* [Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils], М., Izd. AN SSSR, Moscow, Russia, 238 p.

Vlasov, M.A. i dr. (1973) *Bor i stroncij v pochvennykh I gruntovykh vodakh I mineral'nykh ozerakh solenakopleniya Vostochnoj Sibiri, Mikroelementy v biosfere I ih primeneniye v sel'skom hozyajstve i medicine Sibir I Dal'nego Vostoka* [Boron and strontium in soil and groundwater and mineral lakes of the salt accumulation of Eastern Siberia. Microelements in the biosphere and their application in agriculture and medicine in Siberia and the Far East], Ulan-Ude, Russia, pp. 113-117.

Glagoleva, T.P. (1985) *Instrukciya po klinicheskomu analizu krovimolodilososevyhryb v usloviyakh rybovodnykh hozyajstv s cel'yu ocenki ih fiziologicheskogo sostoyaniyai differencial'noj diagnostic izabolevanij* [Instructions for clinical blood analysis of juvenile salmon fish in the conditions of fish farms in order to assess their physiological state and differential diagnosis of diseases], Riga, Izd-vo Balt NIIRH, Russia, 48 p.

Ivanova, N.T. (1983) *Atlas kletok krovi ryb* [Atlas of fish blood cells], Leg. I pishch. prom-st', Moscow, Russia, 184 p.

Mikodina, E.V., Sedova, M.A., Chmylevskij, D.A., Mikulin, A.E., P'yanova, S.V., Poluektova, O.G. (2009) *Gistologiya dlya ihtologov, opytisovety* [Histology for ichthyologists, experience and advice], VNIRO, Moscow, Russia, 112 p.

Mur Dzh. V. (1987) *Tyazhelyemetally v prirodnykh vodakh* [Heavy metals in natural waters], Mir, Moscow, Russia, 488 p.

Perel'man, A.I. (1982) *Geohimiya prirodnih vod* [Natural water geochemistry], Nauka, Moscow, Russia, 154 p.

Roskin, G.I., Levinson, L.B. (1957) *Mikroskopicheskaya tekhnika* [Microscopic technique], Sovetskaya nauka, Moscow, Russia, 467 p.

Murtha, Jill, M, Evan, T. Keller. *Characterization of the heat shock response in mature zebrafish* (*Danio rerio*, elektronnyj resurs, URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12814804/>) (Data obrashcheniya: 07.10.2024).

Sara Pasqualetti, Giuseppe Banfi, Massimo Mariotti. University of Milan, Italy. *The effects of strontium on skeletal development in zebrafish embryo*, elektronnyj resurs, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0946672X13000928?via%3Dihp> (Data obrashcheniya: 07.10.2024).

Статья поступила в редакцию (Received): 05.03.2025

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2025.

Для цитирования / For citation:

Бабаева, Э.В., Федорова, М.А., Губайдулина, С.В., Фролова В.С, Трегуб, А.Г., Медянкина, М.В. (2025) Влияние стронция на половозрелую молодь *Danio rerio*, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1-2, с. 79-88, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-79-88.

Babaeva, E.V., Fedorova, M.A., Gubaidullina, S.V., Frolova, V.S., Tregub, A.G., Medyankina, M.V. (2025) The effect of strontium on mature juveniles *Danio rerio*, *Ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XXXVI, № 1-2. pp. 79-88, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-79-88.

Редкие виды деревьев дендрологического парка ВНИИЛМ города Пушкино Московской области

О.В.Чемарина¹⁾, С.А.Родин²⁾, А.М.Межибовский¹⁾

¹⁾ООО «Эндозара»,
109428, г. Москва, ул. 3-Я Институтская, д.17

²⁾ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
лесоводства и механизации лесного хозяйства»,
141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, дом 15

*Адрес для переписки: *chemarinaolga@yandex.ru*

Реферат. В целях улучшения биологического разнообразия деревьев парков и лесов первой группы, примыкающих к населённым пунктам Московской области, изучены сохранность, рост и состояние редких деревьев дендрологического парка ВНИИЛМ в городе Пушкино. Этот парк создан в 1960 году. Насаждения парка представляют собой следующие структуры одной древесной породы: 1) массивы площадью от 0.05 до 0.2 гектара; 2) аллеи; 3) группы, включающие преимущественно по десять деревьев. Преобладающая часть парка сформирована в виде деревьев, посаженных группами. Установлено, что лучше всего сохранились и растут деревья в массивах и аллеях. Часть видов, посаженных группами деревьев, исчезли полностью. Только несколько редких видов, в том числе клён серебристый, псевдотсуга серая, сосна веймутова, акация белая и черёмуха виргинская сумели хорошо приспособиться к непривычным для них условиям произрастания на супесчаных почвах в городских условиях. Рекомендовано в лесах первой группы в целях улучшения разнообразия использовать указанные интродуценты. Кроме того, определённый интерес в плане расширения ассортимента древесных пород парков представляет естественный гибрид вишни обыкновенной с черёмухой виргинской.

Ключевые слова. Биологическое разнообразие, редкие деревья, парки, леса первой группы.

Rare tree species of the VNIILM dendrological park in the town of Pushkino, Moscow region

O.V. Chemarina¹⁾, S.A. Rodin²⁾, A.M. Mezhibovsky¹⁾

Open joint-stock company "Endozara",
3 Institutskaya St., 17, 109428, Moscow, Russian Federation

"All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization",
Institutskaya St., 15, 141202, Moscow region, Pushkino, Russian Federation

*Correspondence address: *chemarinaolga@yandex.ru*

Abstract. The rare trees conservation, growth and condition of the VNIILM dendrological park in the city of Pushkino were studied in order to improve the biodiversity of first group parks and forests of populated areas of the Moscow region. This park was established in 1960. The park's plantings represent the following structures of a single tree species: 1) arrays of 0.05 to 0.2 acres; 2) alleys; 3) groups of mostly ten trees each. The predominant part of the park is formed in the form of trees planted in groups. Trees in arrays and alleys have been found to be best preserved and growing. Some of the species planted in trees groups have disappeared completely. Only a few rare species, including silver maple, hemlock, white pine, black locust and Virginia bird cherry, have managed to adapt well to the unusual growing conditions of sandy loam soils in urban areas. It is recommended to use the above-mentioned introducers in the forests of the first group in order to improve the biodiversity. In addition, a natural hybrid of common cherry and Virginia cherry is of particular interest in terms of expanding the range of tree species in the parks.

Keywords. Biological diversity, rare trees, parks, forests of the first group.

Введение

Проблема устойчивости древесных пород для улучшения биологического разнообразия городских парков и лесов первой группы, примыкающих к городским территориям, очень актуальна для больших мегаполисов типа Москвы (Ерзин, 2011; Коровин, Зуихина, 2010).

Изучая результат сделанных ранее наблюдений смены дубрав с участием ясеня обыкновенного и липы мелколиственной на осину в Яснополянском лесничестве Тульской области (Межибовский, Проказин, Чемарина, 1995), мы обратили внимание на то, что сохранившиеся отдельные деревья главной породы имели хорошие показатели. Оказалось, что именно такие участки леса привлекали внимание посетителей этого уникального места благодаря разнообразию древесных пород. В настоящее время остаётся вполне актуальным продолжение исследования и возможности достижения биологического разнообразия. Полагаем, что такую работу необходимо проводить в зелёных зонах вокруг городов, лесопарках, и в городских парках (Ерзин, 2007; Романовский, Щекалёв, 2014). Изучая возобновление под пологом разных видов древесных пород в парках и городских лесах (Коровин, Зуихина, 2010), мы в соответствии с трактовкой М.Г. Романовского и Р.В. Щекалёва (Романовский, Щекалёв, 2014) предполагали, что способность сохранения вида лесного дерева зависит не только от почвенно-экологических условий произрастания на урбанизированных территориях, у деревьев в процессе приспособления могут проявиться его редкие способности, которых мы не ожидали. Это побудило нас взять объектами исследования сохранившиеся в дендрологическом парке ВНИИЛМа группы деревьев разных видов.

С целью изучения биологического разнообразия обследовано состояние и рост редких деревьев дендрологического парка ВНИИЛМ в городе Пуш-

кино Московской области. Сомкнутые насаждения этого парка растут в условиях произрастания, близких к сосняку сложному на супесчаных почвах южной части зоны хвойно-широколиственных лесов Европейской части РФ (Ерзин, 2011; Коровин, Зуихина, 2010).

В данной статье рассматриваются только редкие деревья дендрологического парка ВНИИЛМ. Дендрологический парк ВНИИЛМа был создан в 1960 году (Корниенко, 2014). К настоящему времени сохранились в нём следующие объекты:

- 1) массивы одного вида древесной породы (сосны, ели, лиственницы, берёзы) площадью не менее 0.05 га;
- 2) аллеи: а) липы мелколиственной; б) разных гибридов лиственницы; в) ели канадской;
- 3) групповые посадки по 5-10 растений различных хвойных и лиственных древесных пород распространённые по всей территории парка.

В этом парке сажали разные древесные породы преимущественно одного вида. На момент исследования некоторые виды сохранились в очень небольшом количестве, по 2-5 экземпляров, а часть видов вообще пропала, видимо почвенно-климатические условия произрастания и экологическая ситуация города оказались для нее неприемлемыми. Хорошо сохранились лишь липовые аллеи. В хорошем состоянии сохранились виды древесных пород преимущественно из Северной Америки, хотя условия произрастания на их исторической родине сильно отличаются от наших.

Групповые посадки создавались с целью отбора устойчивых древесных пород для улучшения биологического разнообразия городских парков и лесов первой группы (Ерзин, 2011; Коровин, Зуихина, 2010). В связи с этим мы уделили основное внимание на сохранившиеся древесные породы с указанной выше численностью растений. В группе изученных пород оказались в основном выходцы из Северной Америки.

Целью работы являлось выявление морфологических особенностей редких видов деревьев и возможность использования этих интродуцентов для обогащения биологического разнообразия древесных пород в городских парках и лесах первой группы, примыкающих к территориям с городскими экологическими условиями, подобными условиям произрастания в городе Пушкино Московской области (Корниенко, 2014).

Объектами исследований были групповые посадки по 5-10 деревьев одного вида, расположенные в разных местах дендрологического парка.

Географически территория указанного парка входит в южную часть зоны хвойно-широколиственных лесов Европейской части РФ. Ранее эта территория принадлежала ВНИИ эфиромасличных культур (Методические рекомендации..., 1981), от деятельности которого сохранился только один куст розы около входа во Всероссийский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ).

Методика

С помощью мерной вилки, высотомера Блюме-Лейса и возрастного бурава определялись все необходимые параметры дерева: возраст, диаметр на высоте 1.3 и 0.3 метра, высота, длина живой и мёртвой кроны, прирост по радиусу на высоте 1.3 метра. Длина шишек определялась по образцу из пяти штук с помощью линейки с миллиметровыми делениями; длина хвоинок определялась на миллиметровой бумаге с отобранных 1-3 летних побегов по образцам в количестве 25 штук, возраст хвои определялся на 3-5 образцах побегов из трёх частей живой кроны деревьев.

Описывалось строение листьев и соцветия лиственных пород, строение и вкус их плодов, производилось визуальное определение сроков опадения листьев некоторых древесных пород.

Латинские названия описываемых в данной статье деревьев даны по учебнику «Дендрология» Б.В. Гроздова (Гроздов, 1952).

Лесорастительные условия территории парка соответствуют сосняку сложному широко-травному первого класса бонитета (Методические рекомендации..., 1981) указанной выше зоны, что подтверждают одиночные и группы деревьев сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), сохранившиеся на территории города Пушкино и Пушкинского района (рис.1), в том числе вблизи парка ВНИИЛМ.



Рисунок 1. Сосна обыкновенная на улице Тургенева в городе Пушкино.

Figure 1. A Scots pine on Turgenev Street in the town of Pushkino

По результатам обследования двух почвенных разрезов убедились, что почва, на которой произрастают редкие деревья парка, представляет собой

свежий легкий суглинок с примесью супеси в иллювиальном горизонте, супесью в нижеследующем горизонте, подстилаемой рыхлыми песками материнской породы.

Результаты и обсуждение

Два экземпляра редких деревьев представлены клёном серебристым (*Acer sacharinum* L.) – выходцем из Северной Америки. Таких деревьев в 1961 году было посажено десять штук двухлетними саженцами на плоской верхней части парка в двадцати метрах от входа в институт (Корниенко, 2014). В настоящее время им 65 лет. Сейчас это крупные деревья с диаметром на высоте 1.3 метра 58 и 38 сантиметров, на высоте 0.3 метра 66 и 45 сантиметров соответственно; высота их 26.3 и 20.4 метра, живая крона начинается с пяти метров от основания ствола. В среднем это первый класс бонитета (рис. 2, 3). В настоящее время сохранилось два дерева этой породы.



Рисунок 2. Клён серебристый в парке

Figure 2. Silver maple in the park



Рисунок 3. Листья клёна серебристого.

Figure 3. Silver maple leaves

Самосева и подроста под пологом этой породы не обнаружено. В прикорневой части стволов отмечена поросль, которая впервые обнаружена у растущем дереве (рис. 4). Следует отметить, что поросль обнаружилась у клёна, который имел три ствола с наклоном дерева в южном направлении примерно на тридцать градусов, видимо в результате воздействия сильного ветра. У другого дерева, имеющего пряморастущий ствол, поросли не было. В верхней части кроны этих кленов на веточке с листьями мы обнаружили галлы кленового головчатого клещика (*Eriophyes macrochelus* Nal.) По своим таксационным показателям клён серебристый на указанных выше почвах соответствует сомкнутым лесам этой породы в Северной Америке. Кроны этих деревьев растут в контакте с кронами других древесных пород парка,

которые не оказали на них заметного отрицательного влияния, состояние их хорошее. Клён серебристый отличается от других видов кленов красивыми, с нижней стороны беловато-серебристыми листьями, приобретающими осенью жёлтые и красные тона, что ценно в плане разнообразия. По нашим наблюдениям 20 октября 2023 года листья в кроне этого клёна были абсолютно зелёными, что хорошо заметно на фоне массового опадения жёлтых листьев клёна остролистного (*Acer platanoides* L.). Через два дня был заморозок. На почве – 2°C с последующим выпадения снега, его твёрдые фракции пролежали на почве при температуре плюс один градус шесть дней. К 31 октября снег постепенно стаял. Листья в кроне клёна серебристого, как и на прикорневой поросли, на 95% оставались ярко зелёными. В 2024 году 28 октября листья этих кленов оставались зелёными.

До 1 ноября не произошло опадения жёлтых листьев дуба красного (*Quercus rubra*.), листья в кроне поздней формы дуба черешчатого (*Qercus robur* L.) оставались зелёными, также как у одиночных деревьев липы крупнолистной (*Tilia platiphyllos* Scop.) поздней формы развития. Ранее (Родин, Межибовский, Чемарина, 2022) мы показали, что дуб красный вполне пригоден для расширения биологического разнообразия, эти данные по факту наличия не опавших жёлтых листьев подтверждают ранее сделанное предложение.



Рисунок 4. Клен серебристый: поросль в прикорневой части ствола

Figure 4. Silver maple: shoots in the root part of the trunk

Следующим объектом редких деревьев были естественные гибриды вишни обыкновенной (*Cerasus vulgaris* Mill.) и черёмухи виргинской (*Padus*

Virginiana Mill.). Эти три небольших деревца произрастают по соседству с выше упомянутым клёном, на семь метров ближе к центральному входу института, на опушке парка. Определение этих деревьев как естественных гибридов указанных выше пород сделано нами на основе учёта комплекса видовых признаков (табл. 1), измеренных в соответствии с практикумом по дендрологии (Любавская, 1986).



Рисунок 5. Листья гибрида церападуса

Figure 5. Cerapadus hybrid leaves



Рисунок 6. Церападус: спелые ягоды в конце июля 2023 г.

Figure 6. Cerapadus: ripe berries at the end of July 2023

Таблица 1. Учётные видовые признаки деревьев рода *Cerasus* и *Padus*

Table 1. Species characteristics of trees of the genus *Cerasus* and *Padus*

Порода (возраст)	Цвет корки	Поверхность корки	Преобладающий цвет листа	Форма листа	Край листа	Соцветие	Цвет соцветия	Форма плода	Цвет плода	Вкус плода	Отделение мякоти плода	Форма и шероховатость косточки
Вишня обыкновенная (<i>Cerasus vulgaris</i> Mill) (12)	Тёмно-серая без чечевичек	Гладкая без бугорков	Зелёный	Широкоэллиптическая	Мелкопильчатый	Зонтик	Белый	Шаровидная костянка	Светло-красный	Кисло-сладкий	Плохое	Круглая без извилины
Черёмуха обыкновенная (<i>Padus racemosa</i> Gilib) (25)	Тёмно-серая с чечевичками	Гладкая	Тёмно-зелёный	Яйцевидная, к черешку иногда продолговатая эллиптическая заостренная	Остропильчатый	Кисть	Белый	Шаровидная костянка	Чёрный	Кислый	Плохое	Круглая с извилистой выемчатой поверхностью
Черёмуха виргинская (<i>Padus virginiana</i> Mill) (40)	Серая	С серыми узкими загнутыми клочками	Ярко-зелёный	Эллиптическая с вытянутым заостренным кончиком	Мелкопильчатый	Узкая кисть	Белый	Шаровидная костянка	Черноватокрасный	Сладко-кислый	Хорошее	Косточка гладкая
Гибрид вишни и черёмухи виргинской (<i>Cerapadus</i> v. (R.Ch.M.))	Тёмно-серая без чечевичек	Гладкая	Зелёный	Чаще эллиптические, реже обратно-яйце-видные	Мелкопильчатый	Кисть столбчатая	Белый	Шаровидная костянка	Красный с черноватым оттенком	Сладко-кислый	Хорошее	Косточка гладкая

Для обоснования вывода в табл. 1 приведены данные по деревьям рядом растущей черёмухи обыкновенной (*Padus racemosa* Gillb.), вишни обыкновенной, которая произрастает с северной стороны здания института, и черёмухи виргинской, произрастающей на северной опушке массива гибридных лиственниц парка, ближе к его ограде вдоль Институтской улицы.

На рис. 7 представлены листья вишни (а) и гибрида (б).

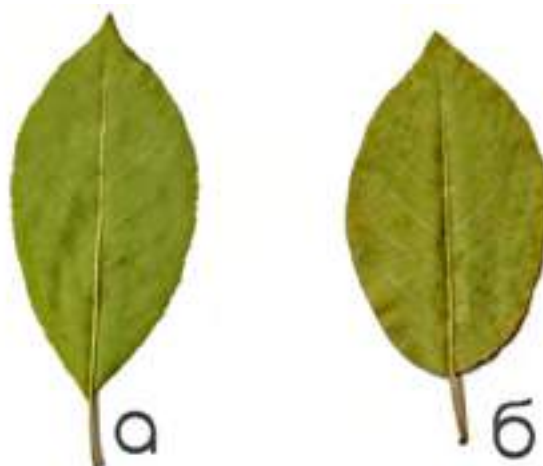


Рисунок 7. Лист вишни (а) и гибрида (б)

Figure 7. Leaf of cherry (a) and hybrid (b)

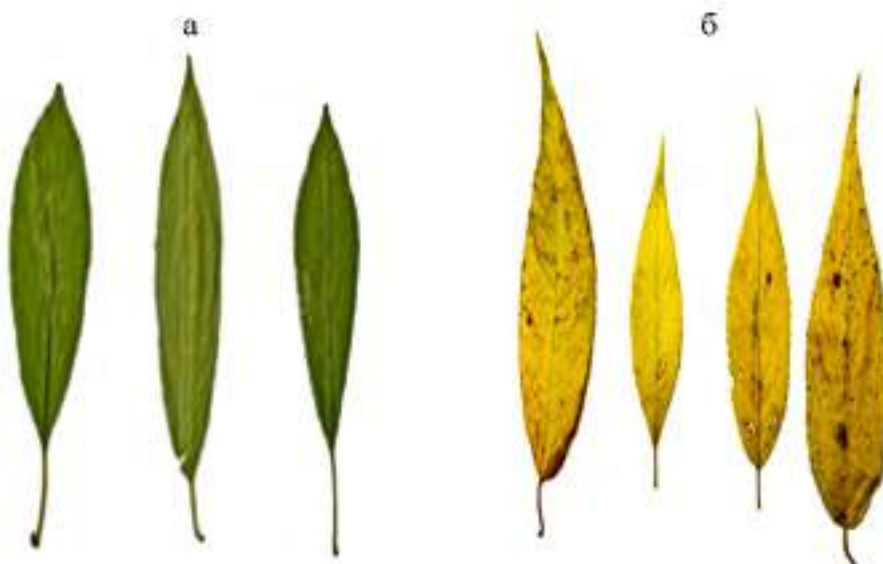


Рисунок 8. а) Зеленые листья черёмухи виргинской; б) листья черёмухи виргинской осенью

Figure 8. а) Common chokecherry green leaves; б) common chokecherry leaves in the fall

Можно увидеть, что листья гибрида схожи с листьями вишни и черёмухи виргинской, у этих пород они чаще овальные. У гибрида ярко-красная спелая ягода крупнее, возможно это от вишни, и сладкий вкус чувствуется сильнее, чем у черёмухи виргинской. Диаметры трёх гибридов на высоте груди соответственно 6-9 см и 3-4 сантиметра, высота стволов 3.5-5 метров и 3.0-3.1 метра, состояние хорошее. Естественное сходство у гибридов и черёмухи обыкновенной только в строении соцветия, в обоих случаях это короткая кисть. У черёмухи виргинской соцветие тоже кисть, но удлинённая. Ярко-красные плоды этих трёх гибридов, особенно вблизи других лиственных и хвойных пород парка с середины лета и осенью очень привлекательны (рис. 9). В целях дальнейшего исследования разнообразия указанного гибрида был сделан посев его костянок.

На расстоянии четырёх метров от юго-западной стены института растёт ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.). В дендропарке оно является единственным деревом этого рода, поэтому отнесено нами к редким. Диаметр его на высоте 1.3 метра 35 сантиметров, на высоте 0.3 метра 38 сантиметров, высота 22.6 метра, длина живой кроны 10.6 метра, возраст 60 лет. Посадка была произведена в 1964 году двухлетними саженцами, при этом сажали и другие ясени, а именно пушистый и зелёный, но они не сохранились (Корниенко, 2014). Дерево ясеня обыкновенного растёт и развивается с раскидистой кроной, состояние хорошее, естественного возобновления этой породы под пологом кроны нет. В парке под пологом других деревьев встречается самосев этой пород высотой до 1.4 метра.



Рисунок 9. Церападус в конце сентября с усохшими побуревшими ягодами

Figure 9. Cerapadus in late September with shrunken, browned berries

На расстоянии пятнадцати метров от юго-западного угла здания института произрастают три близко растущие дерева псевдотсуги серой (*Pseudotsuga caesia* Flous). Деревья этой породы естественно растут в скалистых лесах Северной Америки. Диагностическими признаками этого вида послужили строение кроны в виде горизонтально отстоящих ветвей ствола (рис. 10) и короткими (около 5-6 см) овальными шишками с выступающими на 7-8 мм семенными чешуями над торчащими вверх кроющими (Любавская, 1986). Эти деревья в возрасте 55 лет имели на высоте 1.3 метра соответственно 20.5, 38.5 и 48 сантиметров, на высоте 0.3 метра соответственно 28, 45, и 56 см; высота соответственно 18, 24.1 и 24.5 метров. Живая крона началась соответственно с 6.0, 6.5 и 10.0 метров. Длина торчащей во все стороны серо-зелёной притупленной хвои колебалась от 14 до 27 мм. Прирост по радиусу на высоте 1.3 метра составил в среднем 12 миллиметров за последние пять лет. Хвоя живёт на побегах два года, трёхлетняя хвоя встречалась только единично. Корка данной псевдотсуги грубо-трещиноватая, совсем не похожая на корку остальных хвойных пород дендропарка. По своим таксационным показателям эта порода близка к данным соответствующих лесных культур в Смоленской области (Любавская, 1986). Естественное возобновление этой породы под пологом отсутствует. Естественное отличие псевдотсуги от растущих в парке других видов хвойных пород делает её довольно привлекательной. Кроме этих трёх деревьев псевдотсуги серой нам встретились ещё два дерева этой породы в других частях парка с теми же таксационными и лесоводственными показателями.



Рисунок 10. Строение кроны псевдотсуги серой.

Figure 10. Black spruce crown structure

Несколько ниже по склону к реке от описанных хвойных деревьев нами обнаружена группа деревьев акации белой (*Robinia pseudoacacia* L.) в количестве восьми штук. Родина белой акации – Аппалачские горы Северной Америки (Любавская, 1986). Эта акация была посажена в 1965 году двухлетними саженцами в количестве 14-ти штук (Методические рекомендации..., 1981). Самое крупное дерево этой породы при диаметре на высоте 1.3 метра 26 сантиметров, имеет высоту 18.6 метра, длина живой кроны 5.1 метра, а первый мёртвый сук отмечен на высоте 4.2 метра (рис. 11). Листья акации в кроне в сентябре абсолютно зелёные. Остальные деревья этой породы от 9-ти до 12 метров высотой с раскидистыми кронами имеют диаметры стволов от 19 до 38 сантиметров. Деревья цветут ежегодно, но плоды их бобы (рис. 12) почти все недоброкачественные, может быть поэтому всходов мы там не встретили. Приятный аромат при цветении этой акации поражает и останавливает надолго посетителей парка. Почвенные условия, указанные выше, вполне благоприятны для этой акации. По нашим наблюдениям 23 октября 2023 года после заморозка на почве минус два градуса начали отпадать отдельные зелёные листья акаций. После выпадения снега, 25 октября, листья акации в течение 2-4 дней полностью опали. По наблюдениям в 2024 году сроки опадения листьев этой породы в основном совпали с не большими отклонениями к ноябрю на два-три дня. При этом мы обнаружили под пологом одного дерева акации четвёртого класса роста с большой гнилью в прикорневой части ствола отпрыски 1-2 летнего возраста высотой 18-40 см, вполне жизнеспособные. Под пологом здоровых деревьев этой породы первого-второго классов роста отпрысков у акации не было (рис. 11, 11а). Этот факт реакции акации белой на появление отпрысков от больного дерева можно расценивать, как способ выживания породы и сохранение вида в горах Северной Америки при отсутствии влияния деятельности человека.



Рисунок 11. Акация белая
Figure 11. The black locust



Рисунок 11а. Отпрыски акации белой под проекцией кроны
Figure 11а. Acacia white shoots under crown projection



Рисунок 12. Плоды акации белой

Figure 12. The black locust fruit



Рисунок 13. Черёмуха виргинская с порослью

Figure 13. The chokecherry with sobole



Рисунок 14. Сосна веймутова
(дерево от земли до верха кроны)

Figure 14. Weymouth pine
(tree from the ground to the crown top)



Рисунок 15. Сосна веймутова
(нижняя часть дерева)

Figure 15. Weymouth pine
(the low tree part)

Ниже этой группы акаций растут выходцы из Канады – три дерева черёмухи виргинской с порослью у прикорневой части ствола. Диаметры их на высоте 1.3 метра 31.0, 35.0 и 40.0 сантиметров; на высоте 0.3 метра соответственно 34.5, 43.0, и 56.0 сантиметров соответственно. Возраст этих деревьев 60 лет. Высота самого высокого дерева 22.0 метра, длина живой кроны 9.4 метра, расстояние до первого мёртвого сучка 3.7 м. На расстоянии 0.5 метра от шейки корня на всех трёх деревьях растут по 3-5 штук поросли высотой до 1.5 метров. В Канаде черёмуха виргинская растёт как небольшое дерево высотой до 16 метров (Любавская, 1986). Можно предположить, что у нас условия произрастания лучше, и эти параметры выше. В целом данные деревья вполне жизнеспособные, цветение и образование плодов имеет место, время опадения листьев совпадает с клёном остролистным.

Ниже по склону к реке на расстоянии 15 метров от границы парка мы обнаружили три дерева сосны веймутовой (*Pinus strobus* L.). По одному – двум деревьям этой сосны встречаются и в других частях парка. Диаметры указанных трёх деревьев на высоте 1.3 метра 23, 34.2, 36.5 сантиметра. Диаметр на высоте 0.3 метра соответственно 28.5, 42.5, и 50 сантиметров (рис. 14). Высота составила 21.5, 23.5 и 24.2 метра. Длина живой кроны равна соответственно 13, 13.5 и 18.5 метров. Цвет корки тёмно-серый (рис. 15). Форма кроны у более тонкого дерева узкопирамидальная, у остальных – широкопирамидальная. Возраст деревьев 60 лет. Радиальный прирост на высоте 1.3

метра за последние десять лет составил 17 миллиметров, т.е. в год – 1.7 миллиметра; за предыдущие 43 года прирост по радиусу – 17.3 сантиметра, т.е. в год – 4.0 миллиметра. Хвоя голубовато-зелёная, 6-9 сантиметров длиной, держится на ветвях 2-3 года. Шишки длиной 8-14 сантиметров висят на заметных черешках. Семенные чешуи завершаются плоским щитком, сдвинутым к краю с пупырышком. В литературе встречаются данные, что сосна веймутова сильно повреждается ржавчинным грибом (Гроздов, 1952), но в наших условиях на супесчаных почвах на всём протяжении её роста таких случаев не было. Естественное возобновление этой породы под пологом отсутствует как в этом случае, так и в других, когда они росли по одному или по два дерева. Состояние этих деревьев хорошее, как и других деревьев этой породы в парке.

Заключение

Исследования проведены в сомкнутых насаждениях дендрологического парка ВНИИЛМ в городе Пушкино Московской области. Древесные растения в этом парке произрастают в условиях близких к сосняку сложному южной части зоны хвойно-широколиственных лесов Московской области. На супесчаных почвах парка произрастают древесные породы-аборигены: ясень обыкновенный, черёмуха обыкновенная, а также выходцы из Северной Америки: псевдотсуга серая, сосна веймутова, клён серебристый, акация белая, черёмуха виргинская. Кроме того, нами обнаружены три естественных гибрида вишни обыкновенной и черёмухи виргинской. Произведена лесоводственная оценка состояния и роста указанных древесных растений. Выполнены визуальные наблюдения за сроками опадения листьев следующих древесных пород: клёна серебристого, акации белой, черёмухи виргинской, дуба красного, ранней и поздней форм дуба черешчатого, поздней формы липы крупнолистной.

Впервые установлено, что в прикорневой части клёна серебристого и черёмухи виргинской образуется поросль в возрасте 60 лет, что свидетельствует об особой приспособляемости этих пород к непривычным городским условиям произрастания. Кроме того, впервые под пологом акации белой четвёртого класса роста с большой гнилью в нижней части ствола обнаружены отпрыски этой породы вполне жизнеспособные, чего обычно не встречается под пологом деревьев до их рубки в наших условиях. По-видимому, по этой причине акация белая сохранилась в горах Аппалачи Северной Америки, где эта порода могла развиваться без влияния человека.

Обнаружено, что на фоне хорошего состояния в аллеях и массивах парка площадью не менее 0.05 га одних древесных пород очевидное плохое состояние вплоть до полной гибели других показало большую значимость использования для озеленения видов, соответствующих местным условиям. Результаты наших исследований, подтвердили правильность такого подхода к объектам для разработки предложений по достижению биологического разнообразия в парках и других подобных территориях.

На основании проведенных исследований рекомендуется в городских парках в условиях произрастания близких к городу Пушкино и лесах первой группы, примыкающих к городам на свежих супесчаных почвах в целях улучшения разнообразия использовать следующие интродуценты: клён серебристый, черёмуха виргинская, акация белая, псевдотсуга серая и сосна веймутова. Определённый интерес в плане расширения ассортимента древесных пород парков, представляет естественный гибрид вишни обыкновенной с черёмухой виргинской, которому предварительно дано латинское название (*Cerapadus v. R.Ch.M.*).

Список литературы.

Ерзин, И.В. (2011) *Оценка состояния насаждений городских парков в связи с их реконструкцией на примере г. Москвы*, Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук, Москва, 20 с.

Ерзин, И.В. (2007) *Анализ состояния зелёных насаждений Черкизовского парка*. Основные направления научно-педагогической деятельности факультета ландшафтной архитектуры, Москва, ГОУВПО МГУЛ, выпуск 339, стр. 48-53.

Гроздов, Б.В. (1952) *Дендрология*, Гослесбумиздат, Москва, Ленинград, Гослесбумиздат, 436 с.

Корниенко, А.И. (2014) *История создания дендрологического парка на территории ВНИИЛМ* (г. Пушкино Московской области), Пушкино, стр.3-95.

Коровин, В.В., Зуихина, С.П. (2010) *Введение в современную биологию и дендрологию, учебное пособие*, ГОУ ВПО МГУЛ, Москва, 343 с.

Любавская, А.Я. (1986) *Лиственные древесные породы. Практикум по дендрологии*, Москва, стр. 5-96.

Межибовский, А.М., Проказин, Н.Е, Чемарина, О.В. (1995) Возможности усиления позиций твердолиственных в северной лесостепи, *Лесохозяйственная информация*, № 12, с. 11-22.

Методические рекомендации по выделению групп типов леса зоны хвойно-широколиственных лесов Европейской части РСФСР (1981) Под. ред. Ю.А. Лазарев, А.В. Побединский, А.В. Письмеров, Р.И. Ханбеков, Ю.Д. Абатуров, А.Я. Орлов, В.Г. Чертовской, М., 15 с.

Родин, С.А., Межибовский, А.М., Чемарина, О.В. (2022) Естественное семенное возобновление под пологом одноярусных насаждений в дендросаду, дендропарке и городском лесу, *Лесохозяйственная информация*, № 4, стр. 29-43.

Романовский, М.Г., Щекалёв, Р.В. (2014) *Система вида у лесных растений*. Товарищество научных изданий КМК, Москва. 211 с.

References

- Erzin, I.V. (2011) *Otsenka sostoyaniya nasazhdeniy gorodskikh parkov v svyazi s ikh rekonstruktsiyey na primere g. Moskvy* [Assessmen to the state of urban park plantings in on necti on with their reconstructionon the example of Moscow], Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences, Moscow, Russia, 20 p.
- Erzin, I.V. (2007) *Analiz sostoyaniya zelonykh nasazhdeniy Cherkizovskogo parka. Osnovnyye napravleniya nauchno-pedagogicheskoy deyatel'nosti fakul'teta landshaftnoy arkhitektury* [Analysis of forest stands state of Cherkizovsky Park. Main directions of scientific and pedagogical activity of the faculty of landscape architecture], *Moscow State University of Forestry*, issue 339, pp. 48-53.
- Grozdv, B.V (1952) *Dendrologiya* [Dendrology], Goslesbumizdat, Moscow, Leningrad, Russia, 436 p.
- Korniyenko, A.I. (2014) *Istoriya sozdaniya dendrologicheskogo parka na territorii VNIILM (g. Pushkino Moskovskoy oblasti)* [History of the creation of adendrological park on the territory of VNIIL M (Pushkino, Moscow region)], Pushkino, pp. 3-95.
- Korovin, V.V., Zuikhina, S.P. (2010) *Vvedeniye v sovremennuyu biologiyu i dendrologiyu: uchebnoye posobiye* [Introduction to modern biology and dendrology: a tutorial], State Educational Institution of Higher Professional Education MGUL, Moscow, Russia, 343 p.
- Lyubavskaya, A.Ya. (1986) *Listvennyye drevesnyye porody. Praktikum po dendrologii* [Deciduous trees pecies. Practic altrainingin dendrology], Moscow, Russia, pp. 5-96.
- Mezhibovsky, A.M., Prokazin, N.E., Chemarina, O.V. (1995) *Vozmozhnosti usileniya pozitsiy tverdotsvennykh v severnoy lesostepi* [Possibilities of strengthening the positions of hardwoods in the northern forest-steppe.Forestry information], no. 12, pp. 11-22.
- Metodicheskkiye rekomendatsii po vydeleniy u grupp tipov lesa zony khvoynno-shirokolistvennykh lesov Yevropeyskoy chasti RSFSR* [Methodological recommendations for identifying forest type groups in the coniferous-broadleaf forest zone of the European part of the RSFSR] (1981) In Yu.A. Lazarev, A.V. Pobedinsky, A.V. Pis'merov, R.I. Khanbekov, Yu.D. Abaturov, A.Ya. Orlov,V.G. Chertovskoy (eds.), Moscow, Russia, 15 p.
- Rodin, S.A., Mezhibovsky, A.M., Chemarina, O.V. (2022) *Yestestvennoye semennoye vozobnovleniye pod pologom odnoyarusnykh nasazhdeniy v dendrosadu, dendroparke i gorodskom lesu* [Natural see dregeneration und er the canopy of single-tierplantation sinan arboretum, arboretum and urban forest], *Forestry information*, no. 42021, pp. 29-43.
-

Romanovsky, M.G., Shchekalev, R.V.(2014) *Sistema vida u lesnykh rasteniy* [Species system in forest plants], Scientific publishing partnership KMK, Moscow, Russia, 211 p.

Статья поступила в редакцию (Received): 16.02.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2025.

Для цитирования / Forcitation

Чемарина, О.В., Родин, С.А., Межибовский, А.М. (2025) Редкие виды деревьев дендрологического парка ВНИИЛМ города Пушкино Московской области, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1, с. 89-106, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-89-106.

Chemarina, O.V., Rodin, S.A., Mezhibovsky, A.M. (2025) Rare tree species of the VNIILM dendrological park in the town of Pushkino, Moscow region, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXVI, no. 1, с. 89-106, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-89-106.

К вопросу об объективной оценке показателей снижения выбросов загрязняющих веществ в рамках выполнения федерального проекта «Чистый воздух»

*П.В. Росляков¹⁾, О.Е. Кондратьева¹⁾, И.О. Тихонова²⁾, Ю.Н. Бурвикова³⁾**

¹⁾ Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Российская Федерация, 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14

²⁾ Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
Российская Федерация, 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9

³⁾ Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
Российская Федерация, 141006, Московская обл., г. Мытищи, Олимпийский проспект, д. 42

* Адрес для переписки: *u.burvikova@eipc.center*

Реферат. В статье предложен подход к оценке показателей снижения выбросов приоритетных загрязняющих веществ с учётом приведённой массы этих веществ. Актуальность исследования определяется объективными сложностями в установлении квот на выбросы загрязняющих веществ и оценке результатов, достигнутых в ходе эксперимента, осуществляемого в рамках выполнения федерального проекта «Чистый воздух». Показано, что квоты устанавливаются без учёта (1) особенностей технологических процессов производства и характерных (маркерных) загрязняющих веществ; (2) технологических и технических возможностей достижения целевых показателей. Не вполне учитывается и вклад источников негативного воздействия в выбросы конкретных веществ. Приведённую массу загрязняющих веществ предложено рассчитывать исходя из их относительной опасности, используя в качестве «эталонного» загрязняющего вещества монооксид углерода. Предложены расчётные формулы для определения (1) исходной приведённой массы выбросов, (2) приведённой массы в отчётном году и (3) достигнутого снижения выбросов загрязняющих веществ. В качестве примера рассмотрены результаты мероприятий, выполненных объектом негативного воздействия, реализующим химико-технологические процессы производства продукции. Показано, что учёт приведённой массы и включение в перечень оцениваемых характерных для производственных процессов (маркерных) загрязняющих веществ позволяет сделать вывод о значительном снижении негативного воздействия на окружающую среду (эмиссии сокращены примерно на 45%). На основании результатов проведённых исследований предложено учитывать при оценке достижения планового показателя снижения выбросов загрязняющих веществ в рамках эксперимента по их квотированию приведённую массу этих веществ. Этот подход позволяет (1) дифференцировать выбросы в атмосферный воздух с учётом относительной опасности химических веществ; (2) более объективно оценивать негативное воздействие на окружающую

среду, обусловленное как поступлением в атмосферный воздух отдельных веществ, так и всей совокупностью выбросов загрязняющих веществ в городах – участниках эксперимента; (3) целенаправленно разрабатывать программы мероприятий по достижению плановых показателей снижения выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями. Выдвинуто предположение о том, что в дальнейшем предложенный подход можно было бы использовать и для совершенствования методики установления квот на выбросы загрязняющих веществ в рамках расширения федерального проекта «Чистый воздух», учитывая также вклад конкретных объектов в загрязнение атмосферного воздуха приоритетными веществами и наличие технологических и технических решений для их сокращения.

Ключевые слова. Экологический мониторинг, приоритетное загрязняющее вещество, технологический процесс, техническое решение, выброс в воздух, методика квотирования, результат квотирования, приведённая масса, расчёт.

On the issue of an objective assessment of pollutant emissions reduction within the framework of the implementation of the "Clean Air" federal project

*P.V. Roslyakov¹⁾, O.E. Kondratyeva¹⁾, I.O. Tikhonova²⁾, Yu.N. Burvikova³⁾**

¹⁾ National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
14, Krasnokazarmennaya Street, 111250, Moscow, Russian Federation

²⁾ D. I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
9, Miusskaya Square, 125047, Moscow, Russian Federation

³⁾ Research Institute "Environmental Industrial Policy Center",
42, Olympic Avenue, 141006, Moscow Region, Mytishchi, Russian Federation

* Correspondence address: u.burvikova@eipc.center

Abstract. The article proposes an approach to assessing parameters of reducing emissions of priority pollutants, taking into account the reduced mass of these substances. The study is relevant of the study due to objective difficulties in setting quotas for pollutant emissions and evaluating results achieved as part of regulatory experiments run within the framework of the "Clean Air" federal project. Authors show that quotas are set not considering (1) key features of technological processes and characteristic (marker) pollutants; and (2) technological and technical opportunities to achieve the targets. Contributions of various installations to emissions of specific substances is also not thoroughly considered. Authors suggest calculating the effective mass of pollutants based on their relative danger, using carbon monoxide as a "reference" pollutant. They propose calculation formulas for determining: (1) the initial effective mass of emissions, (2) the reduced mass in the reporting year, and (3) the achieved reduction in pollutant emissions. As an example, the article considers results of the

projects implemented by the installation running chemical technology based production processes. Authors show that taking into account the effective mass and including marker pollutants, characteristic for production processes, in the list of assessed substances, allows to conclude that the negative environmental impact has been significantly reduced (emissions have been decreased by about 45%). Based on the research, authors propose considering the effective mass of these substances when assessing the achievement of targets for reducing pollutant emissions as part of an experiment on their quoting. This approach allows to: (1) differentiate emissions, considering the relative danger of chemicals; (2) more objectively assess the negative environmental impacts caused by emissions of individual substances and total emission loads in the cities participating in the experiment; and (3) to purposefully develop action programmes aimed at achieving reduction targets set for industrial enterprises. Authors suggest in the future, using the proposed approach to improve the methodology for setting quotas for pollutants within the framework of the widened “Clean Air” project, taking into account contributions of specific installations in terms of releases of priority substances and availabilities to implement technological and technical solutions to reduce emissions.

Keywords. Environmental monitoring, priority pollutant, technological process, technical solution, air emission, quoting methodology, quoting result, effective mass, calculation.

Введение

Развитию системы экологического мониторинга значительное внимание уделяют в настоящее время Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (далее – Минприроды России) и другие федеральные органы исполнительной власти (далее – ФОИВ). В сотрудничестве с научно-исследовательскими институтами и образовательными учреждениями сотрудники ФОИВ разрабатывают Государственную информационную систему (далее – ГИС), призванную в цифровом пространстве реализовать идею академика Ю.А. Израэля об экологическом мониторинге как системе наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей среды и выделения антропогенной составляющей изменений этого состояния на фоне изменений природных. По замыслу Ю.А. Израэля система мониторинга не включала управление качеством окружающей среды, но создавала необходимые условия для принятия обоснованных управленческих решений по сокращению антропогенного воздействия (Израэль, 1984). В наши дни роль управленческих решений возрастает, о чём свидетельствует принятие национальных целей развития, предусматривающих формирование динамичной и устойчивой экономики, технологическое лидерство и достижение экологического благополучия населения¹⁾.

¹⁾ Указ Президента РФ от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/84648.html>.

Заметное место в ГИС «Экологический мониторинг» занимает информация, поступающая в рамках реализации федерального проекта (далее – ФП) «Чистый воздух», направленного на снижение загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах²⁾. В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 26 июля 2019 г. № 195-ФЗ³⁾ в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения воздуха в период с 1 января 2020 г. по 31 декабря 2026 г. проводится эксперимент по квотированию выбросов загрязняющих веществ (далее – ЗВ). К настоящему времени к территориям эксперимента отнесены 43 города – из них 12 городов с 2020 г.: Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита; позже были добавлены 29 новых городов и заключены дополнительные соглашения с руководством Стерлитамака и Салавата^{1,2)}.

Для мониторинга реализации обсуждаемого ФП используются так называемые «целевые показатели снижения совокупного объема выбросов»^{1,2)} (отметим сразу: речь должна идти не об объёме, а о массе, что в контексте экологического мониторинга и контроля принципиально), расчёт которых (в %) «проводится ежегодно ... по отношению к базовому периоду (2017 г.)»²⁾. Таким образом, фактически проводится сопоставление валовых показателей – масс ЗВ, поступивших в воздух в разные годы реализации эксперимента. То есть, вклад каждого загрязняющего вещества в достижение целевых показателей снижения выбросов считается равнозначным; классы опасности веществ в атмосферном воздухе не учитываются.

Цель статьи состоит в анализе подходов к (1) установлению квот выбросов загрязняющих веществ и (2) оценке достигнутых результатов эксперимента по квотированию выбросов, применяемых в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух».

Методы исследования

Авторы использовали характерные для выполнения междисциплинарных исследований методы анализа и синтеза (Бочкарева, 2013). Выполнен анализ литературных источников, а также статистических данных, отражающих как достигнутые результаты реализации ФП «Чистый воздух», так и загрязнение воздуха в городах, участвующих в эксперименте по квотированию выбросов. Отраслевое ситуационное исследование основано на материалах НИИ «Центр экологической промышленной политики». Сведения о конкретных объектах негативного воздействия на окружающую среду (далее

²⁾ Паспорт федерального проекта «Чистый воздух». https://www.mnr.gov.ru/activity/direions/natsionalnyy_proekt_ekologiya/federalnyy_proekt_chistyy_vozdukh/?ysclid=m8n9h61y8r10-5954974.

³⁾ Федеральный закон РФ от 26 июля 2019 г. № 195-ФЗ (ред. от 25 декабря 2023 г.) «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/.

– НВОС) обезличены, что соответствует принципам экологического аудита, использованным для сбора информации о приоритетных экологических аспектах (Дайман и др., 2010).

Результаты и обсуждение

Перечень ЗВ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, определён Правительством Российской Федерации⁴). Для атмосферного воздуха список насчитывает 293 загрязняющих вещества. Однако для каждой отрасли (и во многих случаях даже для конкретной технологии) в рамках эколого-технологического регулирования на основе концепции наилучших доступных технологий (далее – НДТ) (Скобелев, 2020) в нашей стране установлены так называемые маркерные, наиболее существенные вещества, которые характеризуют как течение технологических процессов, так и эмиссии ЗВ⁵) (Гусева и др., 2016; Бутовский, Олейникова, 2015). Регуляторная конструкция НДТ построена таким образом, что регулируемое сообщество (промышленность), регуляторы (ФОИВ) и эксперты активно участвуют в обсуждении подходов к нормированию, в установлении требований, которые должны быть как стимулирующими российские предприятия к модернизации, к отказу от устаревших технологий, так и достижимыми. При этом НДТ рассматриваются как «совокупность технологических, технических и управленческих решений, позволяющих предприятиям добиваться повышения ресурсной и экологической эффективности производства и ограничивать эмиссии парниковых газов» (Скобелев и др., 2022). По мере развития эколого-технологического регулирования требования НДТ уточняются, однако на отраслевом уровне они являются общими и не учитывают (и не должны учитывать) особенности конкретных ситуаций, складывающихся на местах, например, в городах – участниках ФП «Чистый воздух» (Скобелев, 2022). В таких ситуациях объекты НВОС получают комплексные экологические разрешения с дополнительными обременениями (или ограничениями, то есть – квотами на выбросы ЗВ).

Вернёмся к обсуждению маркерных веществ. Их перечни приведены в соответствующих отраслевых информационно-технических справочниках по наилучшим доступным технологиям (далее – ИТС НДТ, справочники)⁶).

⁴) Распоряжение Правительства РФ от 20 октября 2023 г. № 2909-р (ред. от 5 июня 2024 г.) «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды и признании утратившими силу некоторых Постановлений Правительства РФ». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_460257/.

⁵) ГОСТ Р 56828.44-2018. Наилучшие доступные технологии. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. Выбор маркерных веществ для выбросов в атмосферу от промышленных источников.

⁶) ГОСТ Р 113.00.03-2019. Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника.

Количество таких веществ и интегральных показателей в различных справочниках варьирует обычно от 2 до 6. В ИТС НДТ обоснованы также численные значения технологических показателей выбросов в атмосферный воздух (и сбросов в природные водные объекты) маркерных ЗВ, которые в установленном порядке утверждаются приказами Минприроды России. В международной практике для описания маркерных веществ и показателей используется собирательный термин «ключевые экологические аспекты» (Key Environmental Issues, KEI) (Marazza et al., 2010; Marie et al., 2024). Эти аспекты представлены в справочниках НДТ, выпущенных, например, в Европейском союзе, в Республике Казахстан, Республике Индия, и учитывают отраслевую специфику, особенности применяемых технологий. При этом в перечнях KEI получают отражение глобальные и региональные экологические проблемы (закисление, эвтрофикация, накопление тяжёлых металлов в трофических сетях и пр.). Нередко в предисловиях к справочникам представлены позиции регуляторов в части предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды и ослабления проявления той или иной экологической проблемы (OECD, 2017).

В рамках проведения эксперимента по квотированию выбросов для расчёта целевого показателя снижения массы выбросов используется понятие «приоритетные загрязняющие вещества»⁷⁾; определены они как «загрязняющие вещества, выбросы которых влияют на превышение гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, создают риски для здоровья человека на территориях эксперимента»⁸⁾. Перечень приоритетных загрязняющих веществ определён Роспотребнадзором (Зайцева и др., 2022). Отметим, что понятие это – далеко не новое: ещё в 1970-е гг. оно получило распространение при разработке подходов к развитию Глобальной системы мониторинга состояния окружающей среды (ГСМОС) (Израэль, 1984). Для фонового мониторинга атмосферного воздуха в качестве приоритетных были названы взвешенные вещества (аэрозоли), озон, диоксид серы, оксиды азота, диоксид углерода, а также тяжёлые металлы, металлоиды и хлорорганические соеди-

⁷⁾ Приказ Росприроднадзора от 29 июля 2021 г. № 480 (ред. от 24 мая 2022 г.) «Об утверждении методик расчёта целевых показателей «Снижение совокупного объёма выбросов опасных загрязняющих веществ в городах – участниках проекта», «Снижение совокупного объёма выбросов за отчетный месяц», «Количество выданных комплексных экологических разрешений всем объектам, оказывающим значительное негативное воздействие на атмосферный воздух и реализующим программы повышения экологической эффективности с применением наилучших доступных технологий для снижения выбросов в крупных промышленных центрах России, включая города Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Читту», «Численность населения, качество жизни которого улучшится в связи с сокращением объёма вредных выбросов в крупных промышленных центрах Российской Федерации» федерального проекта «Чистый воздух».

⁸⁾ Федеральный закон РФ от 26 июля 2019 г. № 195-ФЗ (ред. от 25 декабря 2023 г.) «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/.

нения (Израэль, 1974). Система продолжает совершенствоваться при активном участии Российской Федерации. В Стратегическом плане развития ГСМОС, выпущенном в 2022 г., подчёркнуто: «Загрязнение воздуха является одной из наиболее серьёзных проблем состояния окружающей среды, затрагивающих каждого человека. Во всём мире 9 из 10 человек подвергаются воздействию загрязнения воздуха, которое влияет не только на здоровье населения, но и на продуктивность сельского хозяйства, биоразнообразие и климат»⁹⁾.

В работах академика Ю.А. Израэля и его последователей было указано, что для импактного и регионального мониторинга загрязняющие вещества и интегральные показатели следует ранжировать с учётом характеристик источников воздействия на окружающую среду и особенностей состояния природно-антропогенных систем (Израэль, 1990; Павлов, Кулеш, 2000). То есть, на импактном уровне в перечне приоритетных ЗВ ключевую роль играют маркерные вещества, поступающие в окружающую среду от источников воздействия. По мере изменения масштаба (от локального к региональному и глобальному) внимание сосредотачивается на веществах, которые признаны приоритетными на международном уровне и отнесены к таковым в документах ГСМОС (Gizatullina et al., 2024).

Регуляторная конструкция, лежащая в основе ФП «Чистый воздух», предполагает обязательность достижения целевого показателя снижения выбросов приоритетных загрязняющих веществ (20%). В качестве приоритетных на основании результатов сводных расчётов загрязнения атмосферного воздуха определены 56 загрязняющих веществ¹⁰⁾. К их числу отнесены такие ЗВ, как оксид и диоксид азота, бенз(а)пирен, бензол, взвешенные вещества, пыль неорганическая, диоксид серы, монооксид углерода. Судя по публикациям специалистов в сфере охраны здоровья населения, при выборе подходов к определению приоритетных ЗВ рассматривали «...выбор приоритетов по вкладу в суммарную валовую массу выбросов, по рангу численного значения отношения масс выбросов и предельно допустимым концентрациям или комплексным индексам загрязнения атмосферы, по наличию у химических веществ мутагенных, канцерогенных, тератогенных свойств» и др. (Зайцева и др., 2022; Путятин, Оводков, 2022). Тем не менее, при обосновании целевого показателя снижения загрязнения остановились на учёте масс выбросов, и именно массы приоритетных ЗВ, ежегодно поступающих в атмосферный воздух, надлежит сократить на 20%. Авторы подчёркивают: «Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»¹¹⁾ наделяет главных государственных санитарных врачей и их заместителей полно-

⁹⁾ GEMS Air Strategic Plan. <https://www.unep.org/explore-topics/air/what-we-do/monitoring-air-quality/gems-air-strategic-plan#achieving-scale-and-impact>.

¹⁰⁾ Приказ Минприроды России от 6 октября 2022 г. № 657 «Об утверждении методик расчёта целевых показателей «Снижение совокупного объёма выбросов», «Снижение совокупного объёма выбросов опасных загрязняющих веществ в городах – участниках проекта» федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология». <https://base.garant.ru/407416476/>.

мочиями по внесению в органы всех уровней предложений о реализации мер по улучшению санитарно-эпидемиологической обстановки, охране и укреплению здоровья населения. Данные полномочия целесообразно и важно реализовывать, в том числе в ходе реализации проекта «Чистый воздух» (Зайцева и др., 2022). Справедливое высказывание.

При этом в обсуждении перечня приоритетных ЗВ и целевого показателя снижения их выбросов не принимали участия ни представители регулируемого сообщества, ни эксперты-технологи. То есть, в ряде случаев требование двадцатипроцентного сокращения выбросов приоритетных ЗВ могут приводить к ситуациям, когда технологические и (или) технические решения, позволяющие обеспечить такое снижение, неизвестны. Управленческое решение, к сожалению, очевидно: ограничение выпуска продукции.

Итак, для оценки достижения целевого показателя ФП «Чистый воздух» используются ежегодные показатели снижения выбросов, которые определяются как отношение фактических совокупных масс выбросов приоритетных ЗВ (т/год) в отчётном и базовом периодах. Сведения, необходимые для проведения оценки, поступают из отчётов о выполнении Комплексных планов мероприятий по снижению выбросов ЗВ в атмосферный воздух. Подчеркнём: в Комплексных планах представлены целевые значения суммарных масс выбросов, без указания конкретных приоритетных ЗВ; то есть, оценить информацию о конкретных мероприятиях (решениях) и об их ожидаемой и достигнутой результативности не представляется возможным.

Представляется, что такой порядок расчёта целевого показателя не вполне объективно и не в полной мере позволяет оценить реальное снижение НВОС на территориях проведения эксперимента. Очевидно, что совокупные массы выбросов ЗВ на разных промышленных предприятиях представляют собой разные сочетания отраслевых маркерных ЗВ, а также и других ЗВ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды. Это вещества разных классов опасности, что следует принимать во внимание для объективной оценки НВОС.

При использовании принятого на настоящий момент подхода к расчётам совокупной массы выбросов приоритетных ЗВ и показателей снижения этой массы в реальных условиях возникают следующие проблемы:

- в ряде случаев квоты для объектов НВОС устанавливаются в отношении веществ, выбросы которых не вносят определяющего вклада в загрязнение воздуха на территории эксперимента (вклад предприятий составляет 5-7% от общего потока этого ЗВ, поступающего от совокупности промышленных предприятий);
- промышленные предприятия далеко не всегда имеют технологические, технические, а также финансовые возможности снижения массы выбро-

11) Федеральный закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ (в ред. от 30 мая 2023 г.). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/.

сов всех квотируемых ЗВ одновременно до одинаковых плановых уровней (т. е. на 20%);

– нарушается очерёдность внедрения воздухоохраных мероприятий на объектах НВОС, направленных на снижение выбросов маркерных ЗВ, по которым предприятия не достигают соответствия технологическим показателям НДТ или нормативам выбросов (если это вещества I или II классов опасности).

В этой связи представляется более объективным оценивать показатель снижения НВОС, принимая во внимание не только физическую массу выбросов ЗВ, но и их опасность. Для этого логично учитывать установленные гигиенические нормативы, то есть, предельно допустимые концентрации (далее – ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе¹²⁾. Кроме того, предлагается использовать аналогичный показатель для оценки суммарного НВОС отходящих газов, в которых присутствует сразу несколько ЗВ (как для отдельного источника выделения или выбросов ЗВ, так и для промышленного объекта (предприятия) в целом).

В соответствии с приказом Минприроды России от 19 ноября 2021 г. № 871¹³⁾ «источником выделения загрязняющих веществ» является непосредственно оборудование, которое как правило установлено внутри производственных помещений и производит выбросы (например, печи, котлы, установки, агрегаты и проч.). В свою очередь «источниками выбросов загрязняющих веществ» является оборудование, через которое ЗВ выделяются в атмосферный воздух (трубы или вентиляционные отверстия – оборудование, которое располагается уже не внутри производственного помещения, а на границе помещения и окружающей среды)¹⁴⁾.

Негативное воздействие на атмосферный воздух (в соответствии с пониманием, которое соответствует подходам стандартов ИСО серии 14000) – это те изменения, которые происходят как в воздухе, так и в сопредельных средах в результате поступления загрязняющих веществ; следует также учитывать и другие факторы, не только химические¹⁵⁾.

¹²⁾ Постановление Главного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/fa69e15a74de57cbe09d3-47462434c11fcfeeaca/.

¹³⁾ Приказ Минприроды России от 19 ноября 2021 г. № 871 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки её данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402560/.

¹⁴⁾ Приказ Минприроды России от 5 июля 2023 г. № 418 «О внесении изменений в приложения 1 и 2 к приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 6 октября 2022 г. № 657 «Об утверждении методик расчёта целевых показателей «Снижение совокупного объёма выбросов», «Снижение совокупного объёма выбросов опасных загрязняющих веществ в городах – участниках проекта» федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология». <https://base.garant.ru/407416476/>.

Основным критерием гигиенической оценки качества атмосферного воздуха является среднегодовая (а при её отсутствии – среднесуточная) предельно допустимая концентрация (далее – ПДК_{СГ}) загрязняющего вещества в атмосферном воздухе городских и сельских поселений; считается, что присутствующее в воздухе в количествах, не превышающих ПДК_{СГ}, химическое вещество при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме и неблагоприятных наследственных изменений у потомства (Беспамятнов, Кротов, 1985).

Для сравнительной количественной оценки (сопоставления) реального НВОС любого i -го ЗВ предлагается использовать приведённую массу выброса ($\overline{M}_i$), которая представляет собой массу годового выброса i -го ЗВ ($M_i, \text{т/год}$) от конкретного объекта НВОС, умноженную на отношение среднегодовых предельно допустимых концентраций рассматриваемого i -го ЗВ и некоторого эталонного ЗВ:

$$\overline{M}_i = \frac{(\text{ПДК}_{\text{СГ}})_{\text{эм}}}{(\text{ПДК}_{\text{СГ}})_i} \times M_i, \quad (1)$$

где i – конкретное ЗВ (SO_2 , NO , NO_2 и др.), $\text{ПДК}_{\text{СГ}}$ – среднегодовая предельно допустимая концентрация этого ЗВ в атмосферном воздухе.

Приведённая годовая масса выброса ЗВ измеряется в условных тоннах в год. Отметим, что подобная формула и размерность ($\overline{M}_i$, усл. т/год) были предложены в 1980-е гг. специалистами Госкомитета по науке и технике СССР для оценки ущерба окружающей среде от выбросов загрязняющих веществ. Этот подход был описан в первых учебниках по промышленной экологии, и на их основе в 1990-е гг. разрабатывались ставки платежей за НВОС (Зайцев, 2015). В те годы эталонным загрязняющим веществом для таких расчётов и оценок считался монооксид углерода, для которого была установлена ПДК_{СС} (не среднегодовая, но среднесуточная), численно равная 1 мг/м^3 .

Отметим, что примерно в эти же годы были разработаны подходы к расчёту индекса загрязнения атмосферы (далее – ИЗА) (Безуглая, 1986), в котором относительная опасность различных веществ было предложено приводить к ПДК_{СС} диоксида серы. ИЗА в течение многих лет используется при подготовке Росгидрометом Обзоров состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации; также он нашёл применение в Методике расчёта показателя «Количество городов с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха» (в настоящее время действует приказ Минприроды России от 9 сентября 2022 г. № 599¹⁶⁾).

¹⁵⁾ ГОСТ Р ИСО 14001–2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

¹⁶⁾ Приказ Минприроды России от 9 сентября 2022 г. № 599 (ред. от 12.05.2023 г.) «Об утверждении методики расчёта целевого показателя «Количество городов с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха» федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология».

Очевидно, чем больше значение приведённой массы $\overline{M}_i$, тем выше НВОС (вне зависимости от того, какое именно вещество принято в качестве эталонного).

Значение валового выброса M_i устанавливается из отчётов об инвентаризации выбросов объекта НВОС. В качестве эталонного ЗВ в формуле (1) предлагается выбрать монооксид углерода (СО), который является одним из самых распространённых веществ, включённых в перечень¹⁷⁾; СО относится к IV классу опасности (малоопасные ЗВ) с наибольшим значением $ПДК_{CG}$ среди приоритетных ЗВ. Поэтому отношение среднегодовых ПДК в формуле (1) будет характеризовать относительную опасность конкретного ЗВ.

Тогда количественное значение приведённой массы выброса $\overline{M}_i$ (усл. т/год) любого i -го ЗВ может быть определено как:

$$\overline{M}_i = \frac{(ПДК_{CG})_{CO}}{(ПДК_{CG})_i} \times M_i = \frac{3.0}{(ПДК_{CG})_i} \times M_i, \quad (2)$$

где $(ПДК_{CG})_i$, $(ПДК_{CG})_{CO}$, мг/м³ – среднегодовые ПДК соответственно i -го ЗВ и монооксида углерода (3 мг/м³); M_i – в зависимости от целей расчёта может являться валовым выбросом конкретного i -го ЗВ как от отдельного объекта НВОС, так и в целом по городу или даже по всем территориям эксперимента.

В свою очередь приведённая масса совокупного валового выброса всех приоритетных ЗВ в атмосферный воздух $\overline{M}_\Sigma$ будет равна сумме приведённых масс годовых валовых выбросов $\overline{M}_i$ всех ЗВ, содержащихся в поступающих в атмосферный воздух отходящих газах, рассчитанных по выражению (2):

$$\overline{M}_\Sigma = \sum_{i=1}^k \overline{M}_i = \sum_{i=1}^k \left(\frac{3.0}{(ПДК_{CG})_i} \times M_i \right), \quad (3)$$

где i – приоритетные ЗВ ($i = 1 \dots k$); k – количество приоритетных ЗВ в составе отходящих газов; M_i – как и в формуле (2) в зависимости от целей расчёта может быть валовым выбросом конкретного i -го ЗВ как от отдельного объекта НВОС, так и в целом по городу.

Чем больше значение приведённой массы совокупного валового выброса $\overline{M}_\Sigma$, тем больше НВОС.

Снижение приведённой массы совокупного выброса ЗВ за отчётный период $\Delta \overline{M}_\Sigma^{отч}$ рассчитывается как разница между начальным $\overline{M}_\Sigma^{баз}$ (базо-

¹⁷⁾ Приказ Минприроды России от 6 октября 2022 г. № 657 «Об утверждении методик расчёта целевых показателей «Снижение совокупного объёма выбросов», «Снижение совокупного объёма выбросов опасных загрязняющих веществ в городах – участниках проекта» федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология». <https://base.garant.ru/407416476/>.

вым за 2017 г.) и конечным $\bar{M}_{\Sigma}^{отч}$ (отчётным, в нашем случае – за 2024 г.) значениями приведённых масс всех ЗВ:

$$\Delta \bar{M}_{\Sigma}^{отч} = \bar{M}_{\Sigma}^{баз} - \bar{M}_{\Sigma}^{отч}. \quad (4)$$

Достигнутый за отчётный период показатель снижения НВОС $\bar{П}$ (в %) с учётом приведённой массы выбросов оценивается как:

$$\bar{П} = 100 \times \frac{\bar{M}_{\Sigma}^{баз} - \bar{M}_{\Sigma}^{отч}}{\bar{M}_{\Sigma}^{баз}}, \quad (5)$$

В порядке апробации предложенного подхода проведём оценку сокращения выбросов загрязняющих веществ одним из объектов НВОС, реализующим химико-технологические процессы производства продукции в городе – участнике ФП «Чистый воздух».

Согласно отчётам данного предприятия, выбрасываемые в атмосферный воздух маркерными ЗВ являются сероводород и пыль неорганическая с содержанием SiO_2 20-70%. Кроме того, в воздух поступают оксиды азота NO_x , диоксид серы SO_2 , монооксид углерода CO , хлор и серная кислота. Все перечисленные вещества входят в перечень приоритетных для ФП «Чистый воздух» загрязняющих веществ, выбросы которых должны быть сокращены на 20%. Есть одна оговорка: не все вещества признаны приоритетными именно для того города, в котором функционирует предприятие. Не входит в список сероводород (H_2S), характерное (маркерное) вещество для обсуждаемого предприятия.

В совокупном валовом выбросе ЗВ данного предприятия, если рассчитывать его в тоннах, основную долю составляют выбросы пыли неорганической (38.4%) и монооксида углерода (34.65%). Далее по значимости следуют выбросы NO_x (18.5%) и SO_2 (7.15%). Доля совокупного (суммарного) выброса всех остальных ЗВ не превышает 5%.

Казалось бы, в данной ситуации основные усилия по снижению НВОС следует направить на снижение валовых выбросов основных ЗВ, не уделяя особого внимания сокращению выбросов остальных веществ ввиду их малости.

Однако, если оценивать показатель снижения НВОС в соответствии с предложенным в данной работе подходом, то приведённые массы выбросов за базовый год, рассчитанные по формулам (2) и (3), будут свидетельствовать о том, что наибольший вклад в НВОС обеспечивают выбросы сероводорода (64.19%), оксидов азота (в пересчёте на NO_2 – 14.28%), пыли неорганической (11.86%) и хлора (4.79%). Вклад остальных трёх ЗВ в совокупную приведённую массу выбросов не достигает 5%.

Таким образом, перечни основных ЗВ, выбрасываемых предприятием в атмосферный воздух, при использовании этих двух подходов существенно различаются. Но приведённая масса является более объективной количе-

ственной характеристикой НВОС, и в случае сравнения выбросов разных комбинаций ЗВ большее значение $\bar{M}_\Sigma$ будет соответствовать большему загрязнению атмосферного воздуха. То есть, первоочередное внимание следует уделить сокращению выбросов H_2S , NO_x и пыли неорганической с содержанием SiO_2 20-70%.

Однако и здесь не всё так просто. Известные технологические и технические методы (в их числе и селективное некаталитическое восстановление оксидов азота) не позволяют снизить концентрации NO_x в отходящих газах до уровней, которые обеспечивали бы достижение значений установленной для предприятия квоты на выброс этих веществ. Разница существенная: лучшие мировые практики свидетельствуют о достижении концентраций 120-130 мг $NO_x/м^3$ в отходящих газах (Randall et al., 2019), а с учётом их объёма в интересах квотирования показатель должен бы быть снижен до 30 мг $NO_x/м^3$. В то же время, по данным многолетних наблюдений за состоянием атмосферного воздуха (Ефимова, Рукавишников, 2022) превышения ПДК_{СС} для диоксида азота не фиксируются с 2019 г.; измеренные значения концентраций в приземном слое воздуха не превышают 0.065 мг $NO_2/м^3$. Возникает очевидный вопрос: целесообразно ли инвестировать средства в поиск методов снижения концентрации NO_x , если вклад обсуждаемого НВОС в приземные концентрации этих веществ составляет соответственно 6% и 9%?

Подчеркнём: мероприятия по сокращению выбросов сероводорода, неорганической пыли и хлора предприятием уже реализованы. Удалось добиться и комплексного подхода к сокращению загрязнения окружающей среды: одновременно снижены и сбросы хлора в водный объект (что способствует снижению риска образования хлорорганических веществ) и его выбросы в атмосферный воздух. Между тем, экспериментальные работы, направленные на снижение концентрации NO_x в выбросах со 150-155 мг/м³ до 120-130 мг/м³, ведутся.

Но вернёмся к плановому (целевому) показателю снижения выбросов ЗВ в городе – участнике ФП «Чистый воздух». В случае применения предлагаемого в данной работе подхода картина выглядит вполне приемлемо: при сопоставлении приведённых масс веществ, выброшенных предприятием в атмосферный воздух в 2017 г. и 2024 г. (в том числе выбросов веществ II класса опасности (хлора и H_2S)), можно видеть, что разница составляет 250 тыс. усл. т (около 45%). Отметим также, что даже при оценке результатов, достигнутых обсуждаемым предприятием, в единицах физической массы загрязняющих веществ, учёт мероприятий по снижению выбросов хлора и H_2S позволяет сделать вывод о том, что снижение выбросов приближается к 18% (65 тыс. т) (рис. 1).

Причём плановый показатель снижения выбросов достигнут по загрязняющим веществам, для которых вклад данного объекта НВОС в приземные концентрации приближается к 100% (Ефимова, Рукавишников, 2022), что нельзя считать несущественным достижением.

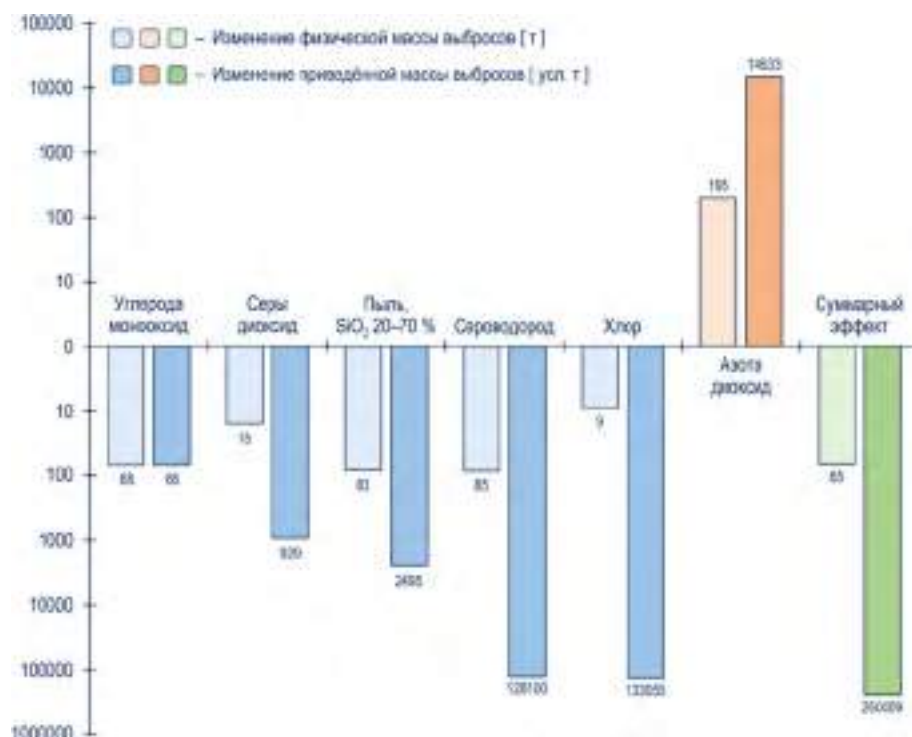


Рисунок 1. Изменение выбросов приоритетных загрязняющих веществ (2017-2024 гг.)
(составлен авторами)

Figure 1. Changes in emissions of priority pollutants (2017-2024)
(compiled by the authors)

Заключение

Таким образом, в данной статье проанализированы подходы к (1) установлению квот выбросов загрязняющих веществ и (2) оценке достигнутых результатов эксперимента по квотированию выбросов, применяемых в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух».

Предложено учитывать при оценке достижения планового показателя снижения выбросов загрязняющих веществ в рамках эксперимента по их квотированию в городах – участниках ФП «Чистый воздух» приведённую массу ЗВ (в условных тоннах). Этот подход позволяет:

- дифференцировать выбросы ЗВ в атмосферный воздух с учётом относительной опасности химических веществ;
- более объективно оценивать НВОС, обусловленное как поступлением в атмосферный воздух отдельных ЗВ, так и всей совокупностью выбросов загрязняющих веществ в городах – участниках эксперимента;
- целенаправленно и более обосновано разрабатывать программы мероприятий по достижению плановых показателей снижения НВОС, обусловленного выбросами загрязняющих веществ промышленными предприятиями.

В дальнейшем предложенный подход можно было бы использовать и для совершенствования методики установления квот на выбросы ЗВ в рамках расширения ФП «Чистый воздух», учитывая также вклад конкретных объектов НВОС в загрязнение атмосферного воздуха приоритетными веществами и наличие технологических и технических решений для их сокращения.

Список литературы

Безуглая, Э.Ю. (1986) *Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Результаты экспериментальных исследований*, Ленинград, Гидрометеиздат, 200 с.

Беспамятнов, Г.П., Кротов, Ю.А. (1985) *Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде*, Ленинград, Химия, 528 с.

Бочкарева, Л.В. (2013) Анализ, синтез и предвидение как основные мыслительные операции, лежащие в основе аналитико-синтетической компетентности, *Фундаментальные исследования*, № 4, с. 959-963.

Бутовский, Р.О., Олейникова, М.И. (2015) Сравнительная эффективность НДТ на основании универсальных критериев на примере целлюлознобумажной промышленности, *Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности*, Москва, Перо, т. 3, с. 11-34.

Гусева, Т.В., Бегак, М.В., Молчанова, Я.П., Макеенко, П.А. (2016) Существенные и маркерные показатели в экологическом нормировании на основе наилучших доступных технологий и оценке экологической результативности предприятий I категории, *Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности*, Москва, Перо, т. 5, с. 4-19.

Дайман, С.Ю., Гусева, Т.В., Заика, Е.В., Сокорнова, Т.В. (2010) *Системы экологического менеджмента: практический курс*, Москва, Форум, 336 с.

Ефимова, Н.В., Рукавишников, В.С. (2022) Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Братска на основе анализа многолетних наблюдений, *Гигиена и санитария*, т. 101, № 9, с. 998-1003.

Зайцев, В.А. (2015) *Промышленная экология*, 2-е изд., Москва, Лаборатория знаний, 385 с.

Зайцева, Н.В., Май, И.В., Кирьянов, Д.А., Горяев, Д.А. (2022) Научное обоснование приоритетных веществ, объектов квотирования и направлений действий по снижению аэрогенных рисков здоровью населения при реализации полномочий санитарной службы Российской Федерации, *Анализ риска здоровью*, № 4, с. 4-17.

Израэль, Ю.А. (1974) Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменения состояния окружающей среды. Основы мониторинга, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 14-21.

Израэль, Ю.А. (1984) *Экология и контроль состояния природной среды*, 2-е издание, Ленинград, Гидрометеиздат, 560 с.

Израэль, Ю.А. (1990) Философия мониторинга, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 5-10.

Павлов, Н.И., Кулеш, М.М. (2000) Глобальные системы мониторинга окружающей среды и фоновый мониторинг, *Вестник ТГЭУ*, № 4 (16), URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-sistemy-monitoringa-okruzhayushey-sredy-i-fonovyy-monitoring> (дата обращения: 14.04.2025).

Путятин, Д.П., Оводков, М.В. (2022) Научно-методическое сопровождение федерального проекта «Чистый воздух» и эксперимента по квотированию выбросов, *Охрана окружающей среды и заповедное дело*, № 3, с. 49-59.

Скобелев, Д.О. (2020) *Наилучшие доступные технологии: опыт повышения ресурсной и экологической эффективности производства*, Москва, АСМС, 257 с.

Скобелев, Д.О. (2022) Очередной этап развития системы эколого-технологического регулирования промышленности в России, *Экономика устойчивого развития*, № 1 (49), с. 83-89.

Скобелев, Д.О., Волосатова, А.А., Гусева, Т.В., Панова, С.В. (2022) Применение концепции наилучших доступных технологий в различных системах зелёного финансирования: международный опыт и перспективы использования в государствах-членах Евразийского экономического союза, *Вестник евразийской науки*, т. 14, № 2, URL: <https://esj.today/PDF/36ECVN222.pdf> (дата обращения: 14.04.2025).

Gizatullina, G., Nikolaev, M., Valeeva, E., Gaifullina, R., Zaikina, E. (2024) Priority Air Pollutants as Global Risk Factors for Public Health (on the Example of Kazan), *Proceedings of the 24th International Multidisciplinary Conference SGEM 2024*, vol. 24, issue 5.1, doi: 10.5593/sgem2024/5.1/s20.28.

Marazza, D., Bandini, V., Contin, A. (2010) Ranking Environmental Aspects in Environmental Management Systems: A New Method Tested on Local Authorities, *Environment International*, vol. 36, pp. 168-179.

Marie, D., Villot, J., Gaucher, R., Amardeil, A., Laforest, V. (2024) Enhancing Environmental Performance: A Method for Identifying and Prioritizing Key Environmental Issues in Industry, *Clean Technologies*, vol. 6 (4), pp. 1653-1676, doi: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6040080>.

OECD (2017) *Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution. Activity 1: Policies on BAT or Similar Concepts across the World*, OECD, Environment Directorate, URL: https://www.oecd.org/en/publications/best-available-techniques-bat-for-preventing-and-controlling-industrial-pollution-activity-1-policies-on-bat-or-similar-concepts-across-the-world_51381-dbf-en.html (accessed: 14.04.2025).

Randall, D.D., Richardson Fry, C., Schaffner, K.S. (2019) *Selective Non-Catalytic Reduction*, US EPA, URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-12/documents/snrcostmanualchapter7thedition20162017revisions.pdf> (accessed: 14.04.2025).

References

Bezuglaya, E.Yu. (1986) *Monitoring sostoyaniya zagryazneniya atmosfery v gorodakh. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovaniy* [Monitoring of the State of Atmospheric Pollution in Cities. Experimental Research Results], Leningrad, Russia, 200 p.

Bespamyatnov, G.P., Krotov, Yu.A. (1985) *Predel'no dopustimye koncentracii himicheskikh veshchestv v okruzhayushchej srede* [Maximum Permissible Concentrations of Chemicals in the Environment], Leningrad, Russia, 528 p.

Bochkareva, L.V. (2013) Analiz, sintez i predvidenie kak osnovnye myslitel'nye operacii, lezhashchie v osnove analitiko-sinteticheskoy kompetentnosti [Analysis, synthesis and foresight as the main mental operations underlying analytical and synthetic competence], *Fundamental'nye issledovaniya*, no. 4, pp. 959-963.

Butovskij, R.O., Olejnikova, M.I. (2015) Sravnitel'naya effektivnost' NDT na osnovanii universal'nyh kriteriev na primere cellyuloznobumazhnoj promyshlennosti [Comparative Effectiveness of Scientific and Technological Progress Based on Universal Criteria Using the Pulp and Paper Industry as an Example], *Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Opredelenie markernyh veshchestv v razlichnyh otraslyah promyshlennosti* [Best Available Techniques. Identification of Marker Substances in Various Industries], vol. 3, Moscow, Russia, pp. 11-34.

Guseva, T.V., Begak, M.V., Molchanova, Ya.P., Makeenko, P.A. (2016) Sushchestvennye i markernye pokazateli v ekologicheskom normirovanii na osnove nailuchshih dostupnyh tekhnologij i ocenke ekologicheskoy rezul'tativnosti predpriyatij I kategorii [Essential and Marker Indicators in Environmental Regulation Based on the Best Available Techniques and Assessment of Environmental Performance of Category I Enterprises], *Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Opredelenie markernyh veshchestv v razlichnyh otraslyah promyshlennosti* [Best Available Techniques. Identification of Marker Substances in Various Industries], vol. 5, Moscow, Russia, pp. 4-19.

Dajman, S.Yu., Guseva, T.V., Zaika, E.V., Sokornova, T.V. (2010) *Sistemy ekologicheskogo menedzhmenta: prakticheskij kurs* [Environmental Management Systems: a Practical Course], Moscow, Russia, 336 p.

Efimova, N.V., Rukavishnikov, V.S. (2022) Ocenka zagryazneniya atmosfernogo vozduha g. Bratska na osnove analiza mnogoletnih nablyudenij [Assessment of Atmospheric Air Pollution in Bratsk Based on the Analysis of Long-Term Observations], *Gigiena i sanitariya*, vol. 101, no. 9, pp. 998-1003.

Zajcev, V.A. (2015) *Promyshlennaya ekologiya* [Industrial Ecology], 2nd edition, Moscow, Russia, 385 p.

Zajceva, N.V., Maj, I.V., Kir'yanov, D.A., Goryaev, D.A. (2022) Nauchnoe obosnovanie prioritetnyh veshchestv, ob"ektov kvotirovaniya i napravlenij dejstvij po snizheniyu aerogennyh riskov zdorov'yu naseleniya pri realizacii polnomochij sanitarnoj sluzhby Rossijskoj Federacii [Scientific Substantiation of Priority Substances, Quota Facilities and Directions of Actions to Reduce Aerogenic Risks to Public Health in the Implementation of the Powers of the Sanitary Service of the Russian Federation], *Analiz riska zdorov'yu*, no. 4, pp. 4-17.

Izrael', Yu.A. (1974) Global'naya sistema nablyudenij. Prognoz i ocenka izmeneniya sostoyaniya okruzhayushchej sredy. Osnovy monitoring [The Global Observing System. Forecast and Assessment of Environmental Changes. Basics of Monitoring], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 14-21.

Izrael', Yu. A. (1984) *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoj sredy* [Ecology and Control of the Natural Environment], 2nd edition, Leningrad, Russia, 560 p.

Izrael', Yu.A. (1990) Filosofiya monitoring [The Philosophy of Monitoring], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 6, pp. 5-10.

Pavlov, N.I., Kulesh, M.M. (2000) Global'nye sistemy monitoringa okruzhayushchej sredy i fonovyj monitoring [Global Environmental Monitoring Systems and Background Monitoring], *Vestnik TGEU*, no. 4 (16), URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnye-sistemy-monitoringa-okruzhayushchej-sredy-i-fonovyy-monitoring> (accessed: 14.04.2025).

Putyatin, D.P., Ovodkov, M.V. (2022) Nauchno-metodicheskoe soprovozhdenie federal'nogo proekta «Chistyj vozduh» i eksperimenta po kvotirovaniyu vybrosov [Scientific and Methodological Support of the Federal Project “Clean Air” and the Experiment on Emission Quotas], *Ohrana okruzhayushchej sredy i zapovednoe delo*, no. 3, pp. 49-59.

Skobelev, D.O. (2020) *Nailuchshie dostupnye tekhnologii: opyt povysheniya resursnoj i ekologicheskoy effektivnosti proizvodstva* [Best Available Techniques: Experience in Increasing Resource and Environmental Efficiency of Production], Moscow, Russia, 257 p.

Skobelev, D.O. (2022) Ocherednoj etap razvitiya sistemy ekologo-tekhnologicheskogo regulirovaniya promyshlennosti v Rossii [The Next Stage in the Development of the System of Environmental and Technological Regulation of Industry in Russia], *Ekonomika ustojchivogo razvitiya*, no. 1 (49), pp. 83-89.

Skobelev, D.O., Volosatova, A.A., Guseva, T.V., Panova, S.V. (2022) Primenenie koncepcii nailuchshih dostupnyh tekhnologij v razlichnyh sistemah zelyonogo finansirovaniya: mezhdunarodnyj opyt i perspektivy ispol'zovaniya v gosudarstvah-chlenah Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza [Application of the Best Available Techniques Concept in Various Systems of Green Finance:

International Experience and Prospects in the Member-States of the Eurasian Economic Union], *Vestnik evrazijskoj nauki*, vol. 14, no. 2, URL: <https://esj.today/PDF/36ECVN222.pdf> (accessed: 14.04.2025).

Gizatullina, G., Nikolaev, M., Valeeva, E., Gaifullina, R., Zaikina, E. (2024) Priority Air Pollutants as Global Risk Factors for Public Health (on the Example of Kazan), *Proceedings of the 24th International Multidisciplinary Conference SGEM 2024*, vol. 24, issue 5.1, doi: 10.5593/sgem2024/5.1/s20.28.

Marazza, D., Bandini, V., Contin, A. (2010) Ranking Environmental Aspects in Environmental Management Systems: A New Method Tested on Local Authorities, *Environment International*, vol. 36, pp. 168-179.

Marie, D., Villot, J., Gaucher, R., Amardeil, A., Laforest, V. (2024) Enhancing Environmental Performance: A Method for Identifying and Prioritizing Key Environmental Issues in Industry, *Clean Technologies*, vol. 6 (4), pp. 1653-1676, doi: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6040080>.

OECD (2017) *Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution. Activity 1: Policies on BAT or Similar Concepts across the World*, OECD, Environment Directorate, URL: https://www.oecd.org/en/publications/best-available-techniques-bat-for-preventing-and-controlling-industrial-pollution-activity-1-policies-on-bat-or-similar-concepts-across-the-world_51381dbf-en.html (accessed: 14.04.2025).

Randall, D.D., Richardson Fry, C., Schaffner, K.S. (2019) *Selective Non-Catalytic Reduction*, US EPA, URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-12/documents/sncrcostmanualchapter7thedition20162017revisions.pdf> (accessed: 14.04.2025).

Статья поступила в редакцию (Received): 24.04.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2025.

Для цитирования / For citation:

Росляков, П.В., Кондратьева, О.Е., Тихонова, И.О., Бурвикова, Ю.Н. (2025) К вопросу об объективной оценке показателей снижения выбросов загрязняющих веществ в рамках выполнения федерального проекта «Чистый воздух», *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1-2, с. 107-125, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-107-125.

Roslyakov, P.V., Kondratyeva, O.E., Tikhonova, I.O., Burvikova, Yu.N. (2025) On the issue of an objective assessment of pollutant emissions reduction within the framework of the implementation of the "Clean Air" federal project, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXVI, no. 1-2, pp. 107-125, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-107-125.

**Содержание загрязняющих веществ
в атмосферном воздухе по данным сети станций
комплексного фоновый мониторинга в 2023 году***С.Г. Парамонов, В.А. Иванов*

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б

*Адрес для переписки: sgpar@mail.ru

Реферат. Интеграция Российской Федерации в программы международного сотрудничества в сфере охраны окружающей среды, подписание и реализация международных конвенций в области охраны природной среды и биоразнообразия ставит перед Правительством страны задачу осуществления постоянного мониторинга и периодической отчетности о состоянии объектов природного наследия. Сеть СКФМ на базе ООПТ федерального значения, имеющих международный статус, может стать важной составной частью единой государственной системы экологического мониторинга, обеспечить информационную поддержку при разработке и сопровождении масштабных проектов экономического и индустриального развития регионов.

В работе показано, что концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе фоновых районов Европейской части России и стран СНГ остаются низкими на протяжении 30 лет.

Ключевые слова. Комплексный фоновый мониторинг, загрязнение воздуха, тренды, концентрации.

**The content of air pollutants according to the integrated
background monitoring stations network in 2023***S.G. Paramonov, V.A. Ivanov*

Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

Abstract. The integration of the Russian Federation into international cooperation programs in the field of environmental protection, the signing and implementation of international conventions in the field of environmental protection and biodiversity sets the task for the Government of the country to carry out continuous monitoring and periodic reporting on the state of natural heritage sites. The background monitoring network based on protected areas of federal significance with international status can become an important component of the

unified state environmental monitoring system and provide information support in the development and support of large-scale projects for the economic and industrial development of regions.

The work shows that concentrations of pollutants in the atmospheric air of background areas of the European part of Russia and the CIS countries have remained low for 30 years.

Keywords. Integrated background monitoring, air pollution, concentration, trends.

Введение

Концепция системы комплексного фонового мониторинга сформулирована академиком Ю.А. Израэлем в 1974 году (Израэль, 1979). В начале 1980-х годов была создана сеть станций комплексного фонового мониторинга (КФМ) для реализации комплексного подхода к измерениям и оценке фонового состояния природной среды на территории СССР и стран Совета экономической взаимопомощи (СЭВ). Впервые в мире на огромной территории была реализована система мониторинга фонового загрязнения природных сред для наблюдений за основными глобальными загрязняющими веществами (ЗВ) в основных природных средах, включающая: унифицированную программу наблюдений; комплекс методов сбора, анализа и оценки данных наблюдений; сеть станций КФМ и аналитических центров. Создание системы осуществлялось совместными усилиями Гидрометеослужбы при Совете Министров СССР, Министерства сельского хозяйства СССР и Академии наук СССР в соответствии с рекомендациями I-го Международного конгресса по биосферным заповедникам (Минск, октябрь 1983 г.) и параллельно с организацией в СССР первой очереди биосферных заповедников (международная Программа ЮНЕСКО «Человек и биосфера» МАБ) (Буйволов и др., 2021).

Всего на территории СССР было создано 15 станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ), преимущественно в государственных природных биосферных заповедниках (БЗ): Березинский БЗ (Белоруссия), Боровое (Казахстан, ныне в границах национального парка «Барубай»), Чаткальский БЗ, Сары-Челекский БЗ, Ледник Абрамова (Узбекистан), Репетекский БЗ (Туркмения), Прейла (Литва), Кавказский БЗ, Приокско-Террасный БЗ, Центрально-Лесной БЗ, Воронежский БЗ, Сихотэ-Алиньский БЗ, Астраханский БЗ, Баргузинский БЗ, Саяно-Шушенский БЗ (в РСФСР). В странах СЭВ были созданы СКФМ в ГДР, Венгрии, ЧССР, Польше, Болгарии (Буйволов и др., 2021).

Методы и материалы

В основу построения системы комплексного фонового мониторинга в нашей стране были положены следующие технологические и организационные принципы (Громов, Парамонов, 2015):

- размещение полигонов и пробных площадей СКФМ на особо охраняемых природных территориях (далее – ООПТ) федерального значения, входящих в систему биосферных резерватов программы ЮНЕСКО «Человек и Биосфера» (МАБ), что гарантирует долговременную правовую защиту природоохранного режима и отсутствие локальных источников загрязнения в местах наблюдений;
- ведение систематических наблюдений на СКФМ по стандартизированной программе, совмещающей измерение концентраций глобальных загрязняющих веществ в различных природных средах, проведение метеонаблюдений и иных сопутствующих измерений;
- соблюдение единой методологии измерения содержания загрязняющих веществ, включающей унифицированные методы отбора и химического анализа природных объектов на содержание загрязняющих веществ, комплекс пробоотборной аппаратуры и систему регулярного контроля качества данных со стороны научно-исследовательского центра;
- использование химических, геофизических и биологических методов при проведении исследований и мониторинга экосистем.

Научно-исследовательским и координационным центром национальной системы КФМ с самого основания и по настоящее время является Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ФГБУ «ИГКЭ») (до 1989 г. – Лаборатория мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета и АН СССР). После распада СССР решением 4-ой сессии Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ (Алматы, 11-17 октября 1993 г.) ФГБУ «ИГКЭ» было поручено научно-методическое руководство работами в системе КФМ, ведение межгосударственного банка данных фоновых мониторинга и подготовка ежегодного Обзора фоновых состояний окружающей природной среды на территории СНГ. Последний Обзор (за 2023 год) подготовлен в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120020490070-3 «Развитие и модернизация методов и технологий комплексного фоновых мониторинга и комплексной оценки состояния и загрязнения окружающей среды РФ и ее динамики (по интегрированным результатам сетей мониторинга Росгидромета)» и продолжает тридцатилетнюю серию ежегодных публикаций о состоянии фоновых загрязнений на территориях, расположенных на значительном удалении от крупных урбанизированных и промышленных центров в границах бывшего СССР (Обзор фоновых состояний..., 2024).

За время существования программы КФМ были накоплены большие массивы данных, которые не являются однородными; так в некоторые месяцы количество проб могло сильно варьироваться (5-10 в один месяц, 20-31 в другой), либо вообще отсутствовать.

По состоянию на 2025 год в России продолжают функционировать 5 специализированных станции национальной сети КФМ Росгидромета, расположенных в Приокско-Тerrasном, Воронежском, Астраханском, и Алтайском БЗ, кроме того, станция Мариинск, расположенная на Урале. По 2023 год включительно работала станция КФМ в Кавказском БЗ. Продолжаются

наблюдения на СКФМ в Березинском БЗ (Республика Беларусь). Данные этих станций составляют информационную основу фонового мониторинга на территории России и стран СНГ.

Состав сети фонового мониторинга Российской Федерации в 2025 году приведен в табл. 1. На рис. 1 показано размещение станций, осуществляющих фоновый мониторинг в России и странах СНГ.

Таблица 1. Состав сети фонового мониторинга Российской Федерации и стран СНГ в 2025 году

Table 1. Composition of the background monitoring network of the Russian Federation and CIS countries in 2025

Станция мониторинга	Программа наблюдений	Федеральная ООПТ /Регион
Березинский заповедник	СКФМ	Березинский БЗ Республика Беларусь
Боровое (Бурабай)	СКФМ	Щучинско-Боровская курортная зона Республика Казахстан
Приокско-Террасный БЗ (ст. Данки)	СКФМ, ЕМЕП, ГСА	Приокско-Террасный БЗ и охранный зона
Воронежский БЗ	СКФМ, ГСА	Воронежский БЗ
Астраханский БЗ	СКФМ, ГСА	Астраханский БЗ
Яйлю (Алтайский БЗ)	СКФМ	Алтайский БЗ, ОВПП «Золотые горы Алтая»
Мариинск	СКФМ	Средний Урал

Основной задачей сети КФМ является выявление антропогенного воздействия на фоновое состояние окружающей природной среды на региональном и глобальном уровнях. Вместе с тем, изменения последних десятилетий диктуют необходимость актуализации задач и деятельности системы КФМ, в том числе приведение её в соответствии с современными международными требованиями. Сеть станций КФМ, размещаемых на ООПТ федерального значения и имеющих международный статус, должна обеспечивать как национальные потребности в данных фонового мониторинга, так и выполнение международных обязательств Российской Федерации, в том числе в рамках Конвенции по трансграничному переносу загрязнений на большие расстояния Экономической комиссии ООН для Европы (Громов, Парамонов, 2015).

В результате анализа данных в первые годы наблюдений было выявлено, что полученные данные по распределению концентраций большинства загрязняющих веществ в атмосферном воздухе аппроксимируются многомодальным распределением, в следствии чего для описания данных и построения графиков многолетнего хода концентраций использовалось среднее геометрическое значение (Парамонов, 1994). Однако данный метод является достаточно чувствительным к экстремальным значениям, из-за чего его альтернативой может выступать медиана, которая является более робастным

методом обработки данных (Розенберг, Брусиловский, 1994; Бочаров, 2020; Иванов, Парамонов, 2023).

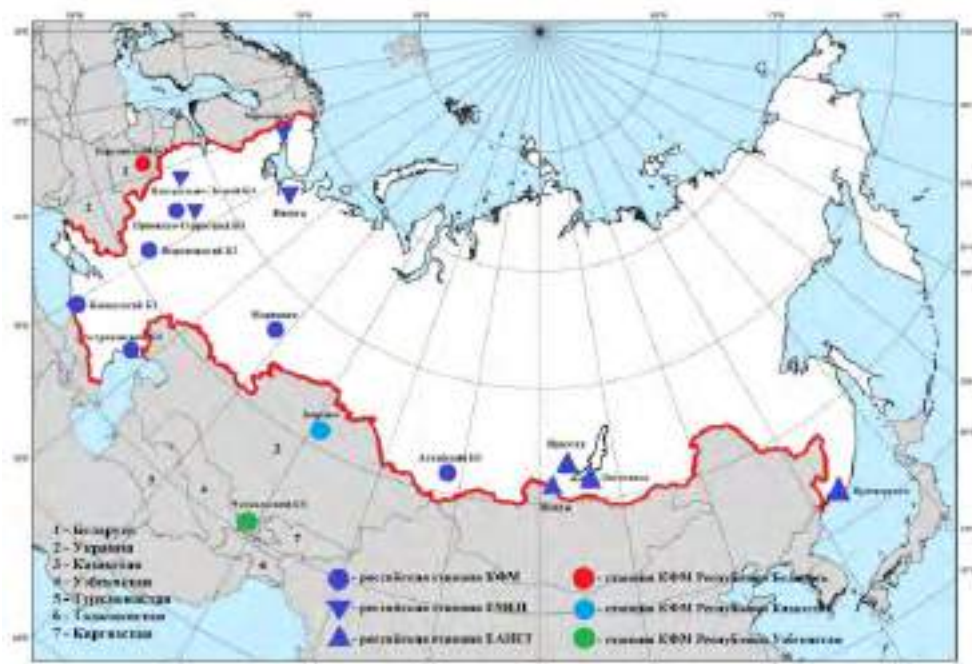


Рисунок 1. Расположение станций фонового мониторинга природной среды в СНГ
Figure 1. Location of environmental background monitoring stations in the CIS

Результаты и обсуждение

Оценка фонового загрязнения атмосферного воздуха выполнена по данным станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ). Анализ загрязнения атмосферного воздуха подготовлен с использованием медианных значений концентраций, измеряемых на СКФМ веществ в воздухе за год, рассчитанных из рядов годового цикла наблюдений с января по декабрь 2023 г. На графиках показаны медианные значения за год (Обзор состояния и загрязнения..., 2024).

В 2023 г. наблюдения за фоновым загрязнением атмосферного воздуха тяжелыми металлами проводились на трех СКФМ, обеспечивая необходимый объем информации только для характеристики регионального фоновое загрязнения атмосферы в Центральных районах Европейской территории России (ЕТР). Концентрации диоксида серы и азота, помимо станций, расположенных на европейской части РФ, определялись на новой СКФМ Маринск, расположенной на южном Урале. На станции КФМ в Астраханском БЗ в 2023 году наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха не проводились (Обзор состояния и загрязнения..., 2024).

Тяжелые металлы. В 2023 году в воздухе фоновых районов ЕЧР медианные годовые концентрации свинца составили 1.1-3.2 нг/м³, значимых изменений его содержания в атмосфере фоновых территорий по сравнению с прошлыми годами, не произошло, при отмечающемся в последние годы снижении среднегодовых значений (рис. 2).

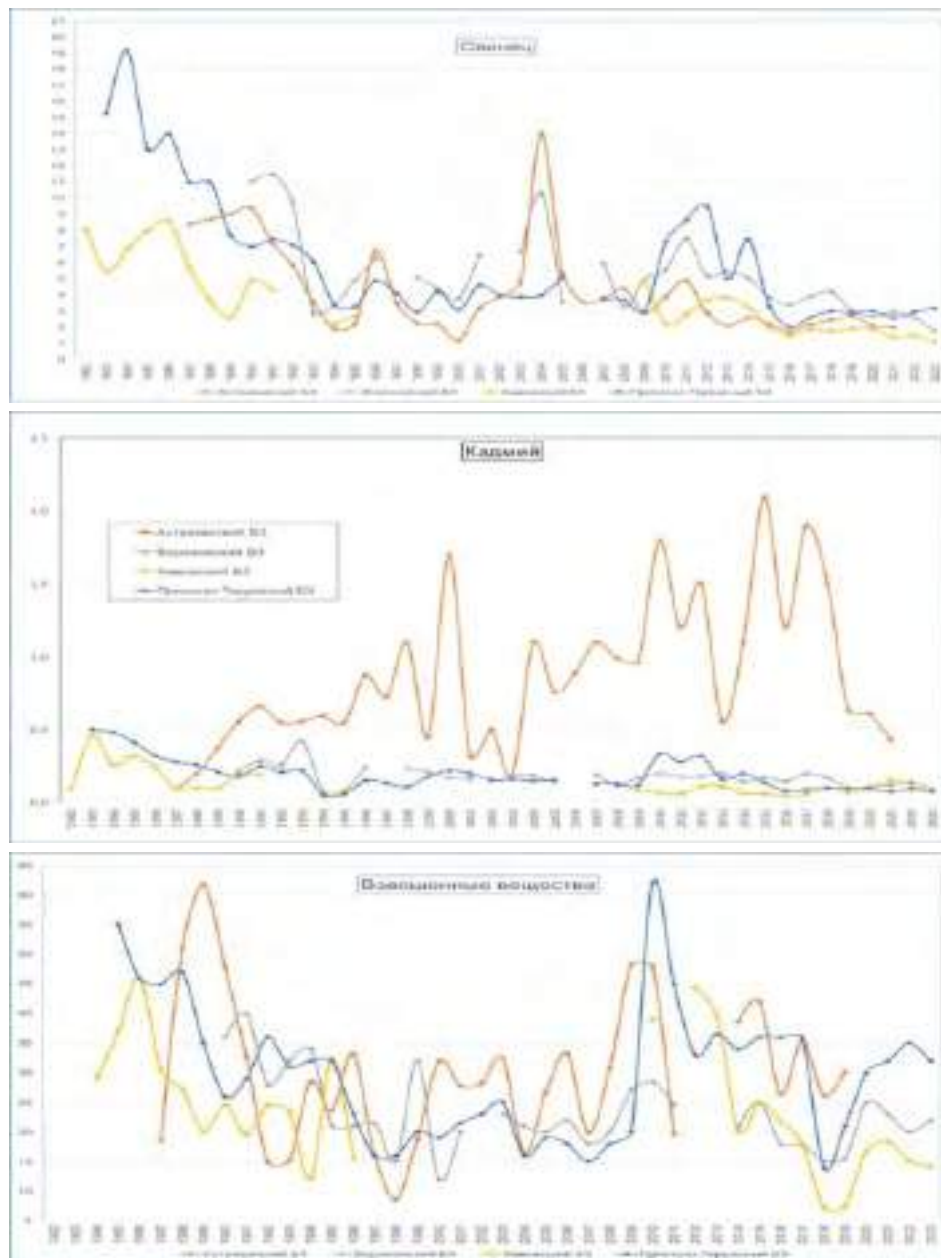


Рисунок 2. Изменение среднегодового содержания свинца, кадмия (нг/м³), и взвешенных веществ (мкг/м³) в атмосферном воздухе фоновых районов

Figure 2. Changes in the average annual content of lead, cadmium (ng/m³), and suspended solids (mg/m³) in the atmospheric air of background areas

Медианные годовые концентрации кадмия в атмосферном воздухе в центральных районах ЕТР сохранились на уровне, наблюдавшемся в последние годы, и в 2023 году не превышали 0.10 нг/м³ (табл. 2).

Таблица 2. Результаты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха на станциях комплексного фоновой мониторинга в 2023 г. (числитель – среднегодовое значение медианы, знаменатель – интервал изменений суточных концентраций)

Table 2. The results of observations of atmospheric air pollution at integrated background monitoring stations in 2023 (the numerator is the average annual median value, the denominator is the interval of changes in daily concentrations)

Загрязняющие вещества	Приокско-Тerrasный БЗ	Воронежский БЗ	Кавказский БЗ	Мариинск
Pb, нг/м ³	3.20	1,78	1,10	
	0.39-55.0	0.01-17.5	0.06-4.8	
Cd, нг/м ³	0.077	0.094	0.074	
	0.01-19.8	0.016-4.0	0.002-0.20	
Hg, нг/м ³	1.68			
	0.01-9.40			
SO ₂ , мкг/м ³	0.10	0.14	0.01	0.03
	0.05-1.5	0.03-0.88	0.01-0.05	0.001-3.17
NO ₂ , мкг/м ³	4.10	2.7		7.1
	0.20-24.3	0.53-12.9		0.001-63.2
Сульфаты, мкг/м ³	0.90			
	0.05-10.9			
Взвешенные вещества, мкг/м ³	32.0	22.0	14.2	
	2.0-178.0	9.0-31.0	4.7-35.8	

Междусуточные изменения содержания свинца и кадмия в воздухе довольно значительны в течение года, в отдельные дни содержание в воздухе свинца и кадмия составляло существенно выше среднегодовых значений, максимальные среднесуточные концентрации – до 55 нг/м³ для свинца (в Приокско-Тerrasном БЗ) и 19.8 нг/м³ для кадмия (в Приокско-Тerrasном БЗ). На всех территориях уровни содержания свинца и кадмия в воздухе выше в холодный период года.

Фоновое содержание ртути в атмосферном воздухе, измерения которого проводится только в центральном районе ЕТР составило 1.68 нг/м³. В отдельные дни содержание почти достигало 10 нг/м³ (табл. 2).

Взвешенные вещества. В 2023 г. медианные годовые концентрации пыли в воздухе на ЕТР изменялись в пределах 14-32 мкг/м³, что соответствует уровню значений последних 10 лет (табл. 2, рис. 2). Сезонные изменения содержания взвешенных частиц в атмосфере имеют ярко выраженный максимум в теплый период, что обусловлено влиянием природных факторов.

Диоксид серы. В 2023 г. медианные годовые концентрации диоксида серы на станциях ЕТР сохранились на низком уровне – около 0.01-0.14 мкг/м³ (рис. 3). В холодный период года наблюдались более высокие концентрации

диоксида серы, увеличиваясь в отдельные сутки до 1.5 мкг/м^3 в центре ЕТР и 3.17 мкг/м^3 на южном Урале (табл. 2). В долгосрочной динамике можно отметить стабилизацию уровней концентраций после отмечавшегося их уменьшения в течение 10 предыдущих лет. Сезонные изменения содержания диоксида серы имеют ярко выраженный максимум в холодный период года, что связано с отопительным сезоном.



Рисунок 3. Изменение фоновое содержания диоксида серы, сульфатов и диоксида азота в атмосферном воздухе фоновых районов (мкг/м^3)

Figure 3. Changes in the background content of sulfur dioxide, sulfates and nitrogen dioxide in the atmospheric air of background areas (ug/m^3)

Диоксид азота. В 2023 г. Медианные годовые концентрации диоксида азота в воздухе на европейской территории сохранились на уровне прошлых лет, изменяясь от 2.7 до 4.1 мкг/м³. На южном Урале концентрации диоксида азота были существенно выше: средние – 7.1 мкг/м³, максимум – 63.2 мкг/м³ (рис. 3). Сезонные изменения фоновых концентраций диоксида азота ясно выражены: в холодный период наблюдаются максимальные значения и повышается повторяемость среднесуточных высоких концентраций (табл. 2).

Сульфаты. В 2023 г. Медианные годовые концентрации сульфатов в центре ЕТР составляли около 0.9 мкг/м³, при этом значения меньше 3 мкг/м³ были зарегистрированы в 95% измерений (рис. 3). В целом, относительно повышенные концентрации сульфатов в центре ЕТР характерны для холодного периода года, в южных районах – для теплого периода.

Значительные межгодовые колебания средних концентраций не позволяют однозначно охарактеризовать тренды изменений, хотя можно проследить стабилизацию уровней содержания сульфатов в центре ЕТР за последние 10 лет после их уменьшения в предыдущие годы.

Сравнение с данными сетей мониторинга СНГ

После распада СССР на территории СНГ продолжают работать три станции мониторинга. К сожалению, ни одна из них не сохранила программу и методы КФМ, однако некие сопоставления с российскими станциями возможны. Подробно данные со станций СНГ рассмотрены в Обзоре фоновое состояние окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2023 год (Обзор фоновое состояние..., 2024).

Содержание приоритетных загрязняющих веществ в природных средах на станции КФМ «Березинский БЗ» (Республика Беларусь) свидетельствует о низком уровне фоновое загрязнение, не представляющим опасности для экосистем Березинского биосферного заповедника и их компонентов. В целом уровень загрязнения природных сред в районе расположения этой станции мониторинга соответствует уровню загрязнения природных сред европейской части России.

Содержание приоритетных загрязняющих веществ в природных средах на станции КФМ «Боровое» (Республика Казахстан) свидетельствует о низком уровне фоновое загрязнение, не представляющим опасности для экосистем Щучинско-Боровской курортной зоны.

Содержание приоритетных загрязняющих веществ в природных средах на станции КФМ «Чаткальский БЗ» (Республика Узбекистан) свидетельствует о низком уровне фоновое загрязнение, не представляющим опасности для экосистем Чаткальского биосферного заповедника и их компонентов.

Выводы и заключение

Результаты проводимого в течение более 30 лет фоновое мониторинга достоверно показали присутствие глобальных загрязняющих веществ антропо-

погенного происхождения (тяжелые металлы, пестициды, канцерогенные полиароматические углеводороды и др.) во всех природных средах на территориях заповедников. Были определены уровни концентраций ЗВ, выявлены некоторые закономерности их поступления и накопления на фоновом уровне в природных средах, описаны географические различия фоновых значений ЗВ в относительно чистых районах Европейской и Азиатской части страны.

Оценка трендов фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и осадках за последние 30 лет, включая 2023 г., на территории стран СНГ, свидетельствует о сохранении на их территории условий, обеспечивающих низкие фоновые уровни концентрации тяжелых металлов, а также соединений серы и азота в природной среде. Однако, анализ изменения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на Европейской территории России показывает, что наблюдавшееся в 1990-х снижение концентраций, обусловленное спадом промышленного производства, прекратилось в 2000-2001 г., и можно ожидать увеличение фоновое загрязнение атмосферы некоторыми загрязняющими веществами.

Работа выполнена в рамках темы 4.5 НИОКТР 125031703848-8 «Развитие и модернизация методов и технологий комплексного фоновое мониторинга и комплексной оценки состояния и загрязнения окружающей среды РФ и ее динамики (по интегрированным результатам сетей мониторинга Росгидромета)».

Список литературы

- Бочаров, Д.А. (2020) Метод линейной регрессии, устойчивый к экстремальным стационарным помехам, *Сенсорные системы*, т. 34, № 1, с. 44-56.
- Буйволов, Ю.А., Парамонов, С.Г., Громов, С.А. (1921) Комплексный фоновый мониторинг в биосферных заповедниках России, триумф или фиаско, *Вопросы географии*, сб. 152, Человек и биосфера. Вечно актуальная тема взаимодействия человека с природой. Под. ред. В.М. Котлякова и Ю.П. Баденкова, Медиа-ПРЕСС, Москва, с. 101-134.
- Громов, С.А., Парамонов, С.Г. (2015) Современное состояние и перспективы развития комплексного фоновое мониторинга загрязнения природной среды, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, № 1, с. 205-221.
- Иванов, В.А., Парамонов, С.Г. (2023) Статистическая обработка данных экологического мониторинга на примере Приокско-Тerrasного биосферного заповедника, в кн.: *Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции*, Москва.
- Израэль, Ю.А. (1979) *Экология и контроль состояния природной среды*, Л., Гидрометеиздат, 375 с.
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. Ежегодное издание (1992-2024)* Под. ред. Г.М. Черногаевой, М., Росгидромета.

дромет, URL: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> и <http://www.meteorf.ru>.

Обзор фоновое состояние окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2023 год. Ежегодное издание (1994-2024) Под ред. Г.М. Черногаевой, М., Росгидромет, URL: http://downloads.igce.ru/publications/obz_fon_2/of_2024.pdf.

Парамонов, С.Г. (1994) *Фоновое загрязнение атмосферы на Европейской территории России*, автореферат дис. ... кандидата географических наук, Москва, 22 с.

Розенберг, Г.С., Шитиков, В.К., Брусиловский, П.М. (1994) *Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов)*, Тольятти, 182 с.

Reference

Bocharov, D.A. (2020) Metod linejnoj regressii, ustojchivyy k ekstremal'ny'm stacionarnym pomekham [A linear regression method robust to extreme stationary noise], *Sensornye sistemy*, vol. 34, no. 1, pp. 44-56.

Bujvolov, Yu. A., Paramonov, S.G., Gromov, S.A (2021) Kompleksnyj fonovyj monitoring v biosfernyh zapovednikah Rossii: triumf ili fiasco [Comprehensive background monitoring in Russian biosphere reserves: triumph or fiasco], *Voprosy geografii*, Sb. 152, Chelovek i biosfera. Vечно aktual'naya tema vzaimodejstviya cheloveka s prirodoj, In. V.M. Kotlyakov, Yu.P. Badenkov (eds.), Media-PRESS, Moscow, Russia, pp. 101-134.

Gromov, S.A., Paramonov, S.G. (2015) Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya kompleksnogo fonovogo monitoringa zagryazneniya prirodnoj sredy v zhurnale [Current state and development prospects of integrated background monitoring of environmental pollution], *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, vol. 26, no. 1, pp. 205-221.

Ivanov V.A., Paramonov S.G. (2023) Statisticheskaya obrabotka dannyh ekologicheskogo monitoringa na primere Prioksko-Terrasnogo biosfernogo zapovednika [Statistical processing of environmental monitoring data using the example of the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve], *Collection of scientific articles based on the materials of the VII International scientific and practical conference. Sbornik nauchnyh statej po materialam VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Moscow, Russia.

Izrael, Yu.A. (1979) *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoj sredy* [Ecology and control of the state of the natural environment], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 375 p.

Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii. Ezhegodnoe izdanie [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation. Annual publication] (1994-2024) In G.M. Cher-

nogaeva (ed.), Rosgidromet, Moscow, Russia, URL: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> i <http://www.meteorf.ru/>.

Obzor fonovogo sostoyaniya okruzhayushchej prirodnoj sredy na territorii stran SNG za 2023 god. Ezhegodnoe izdanie [Review of the background state of the natural environment in the territory of the CIS countries for 2023. Annual publication] (1994-2024) In G.M. Chernogaeva (ed.), Rosgidromet, Moscow, Russia, URL: http://downloads.igce.ru/publications/obz_fon_2/of_2024.pdf.

Paramonov, S.G. (1994) Fonovoe zagryaznenie atmosfery na Evropejskoj territorii Rossii [Background air pollution in the European territory of Russia], abstract of dis. ... candidate of geographical sciences, Moscow, Russia, 22 p.

Rozenberg, G.S., Shitikov, V.K., Brusilovskij, G.N. (1994) *Ekologicheskoe prognozirovanie (Funkcional'nye prediktory vremennyh ryadov)* [Ecological forecasting (Functional predictors of time series)], Tolyatti, 182 p.

Статья поступила в редакцию (Received): 21.03.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2025.

Для цитирования / Forcitation

Парамонов, С.Г., Иванов, В.А. (2025) Содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе по данным сети станций комплексного фоновоего мониторинга в 2023 году, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1-2, с. 126-137, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-126-137.

Paramonov, S.G., Ivanov, V.A. (2025) The content of air pollutants according to the integrated background monitoring stations network in 2023, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXVI, no. 1-2, с. 126-137, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-126-137.

Очерк о почвах Беломорской биостанции МГУ им. Н.А. Перцова

В.Ю. Вертянкина, А.А. Трунов*

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля,
Россия, 107058, Москва, ул. Глебовская, 20Б

*Адрес для переписки: victoria_vert@mail.ru

Реферат. В статье приводятся результаты полевых исследований почв на территории Беломорской биостанции МГУ им. Н.А. Перцова, проведенных в рамках Международной совместной программы комплексного мониторинга воздействия загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) на территории комплексного заказника регионального значения «Полярный круг», стационара МСП КМ «Полярный круг». Согласно проведенным исследованиям, характерными почвами рассматриваемой территории являются подзолы иллювиально-железистые. В понижении, на территории сфагнового болота, формируются перегнойно-торфяные почвы. Для подзолов иллювиально-железистых характерно увеличение мощности подзолистого горизонта (гор. Е) при движении вниз по склону и большое количество окатанных каменистых включений гальки и валунов в нижней части профиля. Наибольшее количество включений характерно для верхней части склона.

Ключевые слова. Почвы, беломорская биостанция МГУ, подзолы, таёжные почвы, почвы Арктики, МСП КМ.

Essay about of Soils of the N.A. Pertsov White Sea Biostation of the Moscow State University

V. Yu. Vertyankina, A.A. Trunov*

Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: victoria_vert@mail.ru

Abstract. The article presents the results of field studies of soils on the territory of the White Sea Biostation of the N.A. Pertsov Moscow State University, conducted within the framework of the International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM) on the territory of the Integrated Reserve of Regional Importance “Polar Circle”, the stationary of the ICP IM “Polar Circle”. According to the studies, the characteristic

soils of the territory under consideration are iron-illuvial podzols. In the depression, on the territory of sphagnum bog, peat-peat soils are formed. For iron-illuvial podzols there is an increase in thickness of podzol horizon (horizon E) while moving down the slope and a large number of fossilized stony inclusions of pebbles and boulders in the lower part of the profile. The greatest number of inclusions is characteristic of the upper part of the slope.

Keywords. Soils, White Sea Biostation MSU, podzols, taiga soils, Arctic soils, ICP IM.

Введение

Беломорская биологическая биостанция МГУ расположена на побережье Кандалакшского залива Белого моря. В связи с разнообразными формами рельефа исследуемой территории почвенный покров отличается своей пестротой и разнообразием. Большое количество работ посвящено изучению почв беломорского побережья (Урусевская, 2020; Орешникова и др., 2012; Багдасаров и др., 2023; Федорец, Бахметов, 2016; Переверзев, 2001).

Климат умеренно-континентальный с чертами морского. Зима продолжительная, относительно мягкая. Лето короткое и прохладное. Среднегодовая температура воздуха находится в пределах от +10 до +3, средняя продолжительность безморозного периода – 105-115 дней. Годовое количество осадков колеблется от 450 до 550 мм (Орешникова и др., 2012).

В растительном покрове преобладают сосна обыкновенная (*Pinussilvestris* L.), сфагновые мхи (*Sphagnum*). Менее обводненные плоские участки или пологие склоны заняты сосняком багульниковым с сфагновыми мхами в напочвенном покрове. На дренированных полого наклонных склонах произрастают сосняки черничники с зелеными мхами. На верхних частях каменистых склонов или песчаных почвах отмечаются сосняки брусничники с зелеными мхами и лишайниками в напочвенном покрове. Другие типы лесных древесных пород встречаются вкраплениями, среди них отмечаются ель европейская (*Piceaabies* (L.) Н. Karst.) и сибирская (*Piceaobovata* Ledeb.), осина (*Populustremula* L.), береза извилистая (*Betulatortuosa* L.) и береза пушистая (*Betulapubescens* Ehrh.). В травяно-кустарничковом ярусе хвойных лесов встречаются герань лесная (*Geraniumsylvaticum* L.), золотарник (*Solidagovirgaurea* L.), костяника (*Rubussaxatilis* L.). В березовом лесу напочвенный покров состоит из зарослей кустарничков вороники (*Empetrumnigrum* L.) и дерена шведского (*Cornus suecica* L.) или смеси трав: чины японской (*Lathyrusjaponicus* Willd.s) и другие. Болота покрыты сфагновыми мхами *Sphagnumpapillosum* Lindb. и *Sphagnumfuscum* (Schimp.) Н. Klinggr., сверху поселяются растения верховых болот, представленные голубикой (*Vacciniumuliginosum* L.), подбелом (*Andromedapolifolia* L.), клюквой, морошкой (*Rubuschamaemorus* L.), багульником, влагалищной пушицей (*Eriophorumvaginatum* L.), круглолистной росянкой (*Droserarotundifolia* L.) (Путешествие по Киндо – мысу, 2008).

Согласно системе почвенно-географического районирования (Карта почвенно-экологического районирования...., 2014) территория района относится к Кольско-Карельской почвенной провинции холодных промерзающих почв Европейско-Западной Сибирской таежно-лесной биоклиматической области Бореального пояса.

Почвы различаются в зависимости от геоморфологического расположения и типа растительности. Преобладающей почвообразующей породой являются сильно завалуненные грубые песчаные и супесчаные моренные отложения, мощность которых сильно варьирует. Господствующими в автоморфных позициях почвами, под хвойными кустарничко-зеленомошными лесами являются подзолы иллювиально-железистые и подзолы иллювиально-гумусовые. На ложбинах прибрежных территорий и устьевых участках ручьев формируются болотные почвы (<https://wsbs-msu.ru/geomorphology-and-soil/>).

По берегам формируются уникальные маршевые почвы, которые различаются в зависимости от типа берега. На берегах открытого типа формируются примитивные и дерновые маршевые почвы, в заливах – маршевые дерново-глеевые и иловато-торфяно-глеевые почвы, на берегах переходного типа – маршевые торфянистые почвы (Орешникова, 2012; Багдасаров и др., 2023).

Цель данной работы заключалась в исследовании морфологических свойств почв, формирующихся на стационарных площадках Международной совместной программы комплексного мониторинга воздействия загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) на территории комплексного заказника регионального значения «Полярный круг».

Результаты исследования

В рамках Международной совместной программы комплексного мониторинга воздействия загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) на территории комплексного заказника регионального значения «Полярный круг» (Беломорская биостанция МГУ им. Н.А. Перцова (ББС МГУ)), стационара МСП КМ «Полярный круг» в сентябре-октябре 2024 года были проведены почвенные исследования с целью выявления наиболее характерных типов почв.

Разрез 1 расположен в свежем биотопе сосняке зеленомошном черничном, микрорельеф выражен в виде небольших бугров и понижений. Профиль почвы имеет следующую систему горизонтов О (0-7 см) – Е (7-15 см) – ВF (15-25) – С (рис. 1а). Профиль маломощный, по всему профилю встречаются крупные окатанные каменистые включения гальки и валунов (рис. 1б).

Верхний горизонт О (0-7 см) обильно пронизан корнями растений, от темно-коричневого цвета в верхней части до темно-серого цвета в нижней части горизонта, супесчаный, комковато-зернистой структуры, в горизонте отмечается большое количество каменистых включений разных размеров, переход к нижележащему горизонту заметный, граница волнистая. Подзоли-

стый горизонт Е (7-15 см) светло-серого цвета, характеризуется супесчаным гранулометрическим составом, местами встречаются темные затеки гумуса по корням растений из вышележащего горизонта, мягкий, бесструктурный, отмечается наличие окатанных каменных включений в виде гальки и хряща. Ниже располагается иллювиально-железистый горизонт ВF (15-25) мощностью около 10 см. Горизонт ржаво-бурого цвета, супесчаного гранулометрического состава, плотный, ореховатой структуры. На глубине около 22 см выделяется морфон темно-красно-бурого цвета, супесчаного гранулометрического состава. Иллювиально-железистый горизонт постепенно с глубины 25 см переходит в почвообразующую породу (горизонт С), представленную большим скоплением окатанных каменных включений крупных размеров (рис. 1б). Почва – подзол иллювиально-железистый.



а. Стенка разреза



б. включения валунов

Рисунок 1. Подзол иллювиально-железистый
О (0-7 см) – Е (7-15 см) – ВF (15-25) – С

Figure 1. Iron- illuvial podzol
О (0-7 см) – Е (7-15 см) – ВF (15-25) – С

При движении вниз по склону в хвойном лесу на пологой площадке в сосняке зеленомошно-долгомошном черничном расположен Разрез 2. По сравнению с вышеописанным профиль почвы более мощный. Мощность всего профиля составляет около 50 см. Система горизонтов представлена следующим образом: О (0-10 см) – Е (10-27 см) – ВF (27-40 см) – ВС (40-52 см). В верхней части профиля выделяются следы обгоревшей древесины. Горизонт О (0-10 см) сложен остатками корней растений разной степени разложения. В нижней части горизонта на глубине 8-10 см отмечается тонкий слой темного черного цвета сильно разложившейся органики с примесью гари, суглинистого гранулометрического состава, комковатой структуры, встречаются слаборазложившиеся древесные остатки, переход неоднородный, гра-

ница волнистая. Ниже лежит подзолистый горизонт Е (10-27 см) мощностью около 17 см, светло-серого цвета, супесчаного гранулометрического состава, в верхней части горизонта выделяются остатки древесных корней, единичные затеки гумуса по корням растений из вышележащего горизонта, горизонт бесструктурный. Граница перехода к нижележащему иллювиальному горизонту ясная, ровная, на глубине 25-27 см отмечаются каменистые включения округлой формы средних размеров. Иллювиально-железистый горизонт ВF (27-40 см) буро-рыжего цвета, по гранулометрическому составу от супеси к легкому суглинку, горизонт плотный, отмечается большое количество мелких каменистых включений (гальки) размером меньше 1 см, хряща, структура комковатая, по граням каменистых включений выделяются иловато-пылеватые кутаны охристого цвета. Граница заметная по цвету и гранулометрическому составу, неровная, волнистая. Ниже залегает горизонт ВС (40-52 см) мощностью 12 см серо-бурого цвета, по гранулометрическому составу от супеси к легкому суглинку. В горизонте отмечаются включения гальки, количество каменистых включений постепенно увеличивается с глубиной. В нижней части горизонта происходит утяжеление гранулометрического состава до легкого суглинка, единичные включения корней диаметром меньше 1 см, структура горизонта комковато-плитчатая. Переход к нижележащему горизонту ясный по количеству каменистых включений, на глубине 52 см выделяются окатанные валуны крупных размеров. Почва – подзол иллювиально-железистый (рис. 2).



Рисунок 2. Подзол иллювиально-железистый
О (0-10 см) – Е (10-27 см) – ВF (27- 40 см) – ВС (40-52 см)

Figure 2. Iron- illuvial podzol
О (0-10 см) – Е (10-27 см) – ВF (27-40 см) – ВС (40-52 см)

В нижней части склона, на сфагновом болоте был заложен Разрез 3. Профиль почвы имеет следующую систему горизонтов ТО (0-11 см) – ТТg (11-21 см) – ТТ (21-31 см). Уровень грунтовых вод был зафиксирован на глубине 35 см. Профиль почвы сырой, со всех стенок разреза сочится вода. По гранулометрическому составу от легкого к среднему суглинку. В верхней части профиля отмечается морфон мощность 1-2 см темно-серого цвета, предположительно остатки сгоревшей древесины или сильно разложившиеся растительные остатки. Весь профиль пронизан растительными остатками представленными – мхами, корнями растений, остатками древесины. В нижней части профиля отмечаются окатанные каменистые включения мелкой гальки. Почва – перегнойно-торфяная (рис. 3).

Таким образом, при движении вниз по склону отмечается увеличение мощности почвенного профиля. Рассматриваемые почвы в верхней и средней частях склона имеют четко дифференцированный профиль О – Е – ВF – ВС. Согласно Классификации и диагностики почв 2004 года (Классификация и диагностика почв России, 2004) почвы относятся к подзолам иллювиально-железистым. Мощность подзолистого горизонта Е находится в пределах от 8 до 17 см и увеличивается от верхней части склона к средней. Наибольшее количество хорошо окатанной гальки и валунов отмечается в верхней части склона и постепенно уменьшается в средней части. Преобладание крупных каменистых включений в нижней части профиля является характерной особенностью для моренных отложений данного региона и отмечается во многих работах (Орешникова, 2012; Урусевская, 2020).



Рисунок 3. Перегнойно-торфяная почва
ТО (0-11 см) – ТТg (11-21 см) – ТТ (21- 31 см)

Figure 3. Humus-peat soil
ТО (0-11 см) – ТТg (11-21 см) – ТТ (21-31 см)

Заключение

На основе проведенных морфологических исследований на рассматриваемых нами участках стационара МСП КМ «Полярный круг» преобладающими типами почв являются подзолы иллювиально-железистые, формирующиеся на моренных отложениях с крупными окатанными каменистыми включениями гальки. При движении вниз по склону отмечается увеличение подзолистого горизонта в профиле почв и уменьшение каменистых включений в нижней части профиля. На пониженных гидроморфных участках формируются перегнойно-торфяные почвы.

Список литературы

Багдасаров, И.Е., Цейц, М.А., Крюкова, Ю.А., Таскина, К.Б., Конюшкова, М.В. (2023) Сравнительная характеристика почвенного и растительного покрова Томболо побережий Белого и Балтийского морей, *Вестн. Моск. Ун-та*, сер. 17, Почвоведение, № 1, стр. 3-15.

Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации (2014) масштаб 1: 2 500 000. Под ред. Г.В. Добровольского и И.С. Урусевской, Москва.

Шишов, Л.Л., Тонконогов, В.Д., Лебедева, И.И., Герасимова, М.И. (2004) *Классификация и диагностика почв России*, Смоленск, Ойкумена, 342 с.

Национальный атлас почв Российской Федерации (2011) под ред. член-корр. РАН Шоба С.А., электронный ресурс, URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/avtory>, дата обращения 17.03.2025.

Орешникова, Н.В., Красильников, П.В., Шоба, С.А. (2012) Маршевые почвы карельского берега Белого моря, *Вестн. Моск. Ун-та*, сер. 17. Почвоведение, № 4, с. 13-20.

Переверзев, В.Н. (2001) Влияние гранулометрического состава на свойства подзолов и глееземов лесной зоны Кольского полуострова, *Почвоведение*, № 1, с. 28-35.

Путешествие по Киндо-мысу. *Очерки о природе и науке Беломорской биологической станции Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова* (2008) Тула, Гриф и К., 144 с.

Урусевская, И.С. (2020) Подзолы на озе в северной тайге Кольского полуострова, *Вестн. Моск. Ун-та* сер.17. Почвоведение, № 3, с. 12-21.

Федорец, Н.Г., Бахмет, О.Н. (2016) Особенности формирования почв и почвенного покрова Карело-Кольского региона, *Труды Карельского научного центра РАН*, № 12, с. 39-51.

<https://wsbs-msu.ru/geomorphology-and-soil/> Беломорская биологическая станция имени Н.А. Перцова Биологического факультета МГУ, *Геоморфология и почвы* (электронный ресурс, дата обращения 17.03.2025)

References

Bagdasarov, I.E., Tseits, M.A., Kryukova, Yu.A., Taskina, K.B., Konyushkova, M.V. (2023) Sravnitel'naya harakteristika pochvennogo i rastitel'nogo pokrova Tombolo poberezhij Belogo and Baltijskogo morej [Comparative characteristics of the soil and vegetation cover of the Tombolo coasts of the White Baltic Seas], *Vestn. Mosk. Un-ta*, ser. 17, *Pochvovedenie*, no. 1, pp. 3-15.

Fedorec, N.G., Bahmet, O.N. (2016) Osobennosti formirovaniya pochv i pochvennogo pokrova Karelo-Kol'skogo regiona [Features of the formation of soils and soil cover of the Karelian-Kola region], *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, no. 12, pp. 39-51.

Karta pochvenno-ekologicheskogo rajonirovaniya Rossijskoj Federacii [Map of soil and ecological zoning of the Russian Federation] (2014), masshtab 1:2500 000, Nauch. red. G.V. Dobrovol'skij, I.S. Urusevskaya, Moscow, Russia.

SHishov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I., Gerasimova, M.I. (2004) Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnosis of soils of Russia], Ojkumena, Smolensk, Russia, 342 p.

Oreshnikova, N.V., Krasil'nikov, P.V., Shoba, S.A. (2012) Marshevye pochvy karel'skogo berega Belogo moray [Marching soils of the Karelian coast of the White Sea], *Vestn. Mosk. Un-ta* ser. 17, *Pochvovedenie*, no. 4, pp. 13-20.

Nacional'nyj atlas pochv Rossijskoj Federacii National [Soil Atlas of the Russian Federation] (2011) In chlen-korr. RAN S.A. Shoba (ed), available at: <https://soil-db.ru/soilatlas/avtory> (accessed 17.03.2025)

Pereverzev, V.N. (2001) Vliyanie granulometricheskogo sostava na svojstva podzolov i gleezemov lesnoj zony Kol'skogo poluostrova, Kindo Cape journey. Essays on the nature and science of the White Sea Biological Station of Moscow State University named after M.V. Lomonosov, *Pochvovedenie*, no. 1, pp. 28-35.

Urusevskaya, I.S. (2020) Podzoly na oze v severnoj tajge Kol'skogo poluostrova [Podzols on the lake in the northern taiga of the Kola Peninsula] (2020), *Vestn. Mosk. Un-ta*, ser.17, *Pochvovedenie*, no. 3, pp. 12-21.

Puteshestvie po Kindo-mysu. Oчерki o prirode i nauke Belomorskoj biologicheskoy stancii Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. V. Lomonosova [Kindo Cape journey. Essays on the nature and science of the White Sea Biological Station of Moscow State University named after M.V. Lomonosov] (2008) Tula, Grif i K, Russia, 144 p.

[https://wsbs-msu.ru/geomorphology-and-soil/Belomorskaya biologicheskaya stanciya imeni N.A. Percova Biologicheskogo fakul'teta MGU](https://wsbs-msu.ru/geomorphology-and-soil/Belomorskaya_biologicheskaya_stanciya_imeni_N.A._Percova_Biologicheskogo_fakul'teta_MGU) [Belomorsk Biological Station named after N.A. Pertsova Faculty of Biology, Moscow State University] *Geomorfologiya i pochvy* (elektronnyj resurs, data obrashcheniya 17.03.2025)

Статья поступила в редакцию (Received): 09.04.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 21.04.2025.

Для цитирования / Forcitation

Вертянкина, В.Ю., Трунов, А.А. (2025) Очерк о почвах Беломорской биостанции МГУ им. Н. А. Перцова, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 1-2, с. 138-146, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-138-146 .

Vertyankina, V.Yu., Trunov, A.A. (2025) Essay about of Soils of the N.A. Pertsov White Sea Biostation of the Moscow State University, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXVI, no. 1-2, с. 138-146, doi:10.24412/2782-3237-2025-1-2-138-146 .