

ЗФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ИНСТИТУТ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА И ЭКОЛОГИИ
имени академика Ю.А. Израэля



ОБЗОР
ФОНОВОГО СОСТОЯНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
НА ТЕРРИТОРИИ СТРАН СНГ ЗА 2024 Г.

Под редакцией
профессора Г.М. Черногаевой

2025

В Обзоре представлены обобщенные результаты фоновый мониторинга состояния природной среды на территории стран СНГ за 2024 г. Обзор содержит данные об уровнях содержания загрязняющих веществ и тенденциях многолетних изменений измеряемых веществ в атмосфере и атмосферных выпадениях, в почве, растительности и поверхностных водах в фоновых районах, а также результаты экологической оценки состояния наземных и водных экосистем.

Обзор предназначен для государственных и общественных организаций, заинтересованных в получении и использовании информации о состоянии природной среды, а также рассчитан на широкий круг специалистов, работающих в области оценки загрязнения и охраны окружающей природной среды.

ISBN 978-5-6055264-4-5

© - Росгидромет, 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2025 г.

© - Перепечатка любых материалов из Обзора только со ссылкой на Росгидромет.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	стр. 4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ И ОСАДКИ	8
1.1 Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе	8
1.2. Физические и химические характеристики атмосферы	13
1.2.1 Углекислый газ и метан	13
1.2.2 Общее содержание озона	19
1.2.3 Оптическая плотность и прозрачность атмосферы	29
1.2.4 Электрические характеристики приземного слоя атмосферы	34
1.3. Химический состав атмосферных осадков	39
1.3.1 Загрязняющие вещества в атмосферных осадках	39
1.3.2 Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	43
1.4. Загрязнение воздуха и осадков соединениями серы и азота по данным станций мониторинга ЕАНЕТ	52
1.5. Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих веществ.	55
1.6. Фоновый уровень выпадений серы и азота по данным о загрязнении снежного покрова в регионах Российской Федерации.	59
1.7 Выпадения кислотообразующих веществ на территории субъектов Российской Федерации по результатам моделирования трансграничных переносов в регионе ЕМЕП за 2024 год	63
2. ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	69
2.1 Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности по данным сети станций комплексного фонового мониторинга	69
2.2 Содержание загрязняющих веществ в почвах фоновых участков промышленных регионов по результатам наблюдательной сети Росгидромета	74
2.3 Кумулятивное воздействие изменяющихся климатических факторов на приросты деревьев в различных типах местообитаний бореальных сосняков	81
3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ	92
3.1. Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ	92
3.2. Состояние, тенденции и динамика изменения состояния поверхностных вод Российской Федерации. Данные станций гидрохимических наблюдений	93
3.3 Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ	100
3.4. Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям	110
4 МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ	124
4.1. Березинский биосферный заповедник (Республика Беларусь)	124
4.2. СКФМ Боровое (Республика Казахстан)	127
4.3 СКФМ Чаткальский БЗ (Республика Узбекистан)	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
Список сокращений	142
Список авторов	143
Conclusions	144

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный ежегодный обзор информации о фоновом состоянии окружающей природной среды на территории стран СНГ подготовлен в соответствии с решением 4-й сессии Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ (Алматы, 11-17 октября 1993 г.) о сотрудничестве в области фонового мониторинга и двусторонними Программными соглашениями между Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и национальными гидрометеослужбами Беларуси, Казахстана и Узбекистана об обмене информацией и выпуске ежегодного "Обзора фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ". В соответствии с вышеуказанными документами Федеральному государственному бюджетному учреждению «Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской Академии Наук» (сейчас ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля») поручены научно-методическое руководство работами, выполняемыми системой комплексного фонового мониторинга, ведение межгосударственного банка данных программы фонового мониторинга, подготовка материалов к выпуску ежегодного Обзора, обобщающего результаты наблюдений фонового состояния окружающей природной среды.

В представлении данных наблюдений и подготовке материалов к выпуску "Обзора фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2024 г." приняли участие:

Росгидромет: ФГБУ «ИГКЭ» – обобщение и анализ данных станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ), мониторинга трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ (ЕМЕП), мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ), мониторинга химического состава снежного покрова (ХССП), оценка состояния пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям; ФГБУ «ГГО» – результаты обработки и анализа данных станций наблюдений за общим содержанием озона в атмосфере, за содержанием диоксида углерода и метана в приземном слое воздуха, аэрозольной мутностью атмосферы, атмосферным электричеством, химическим составом и кислотностью атмосферных осадков на территории РФ; ФГБУ «ГХИ» – оценка фонового уровня загрязнения поверхностных вод суши на территории РФ. Также представлены данные НПО «Тайфун» о содержании загрязняющих веществ в почвах по результатам наблюдений на сети Росгидромета.

Белгидромет: Республиканский центр радиационного контроля природной среды – анализ проб, обработка и обобщение результатов наблюдений СКФМ в Березинском биосферном заповеднике (БЗ).

РПГ «Казгидромет» - данные о загрязнении природной среды на СКФМ «Боровое»

Агентство по Гидрометеорологии республики Узбекистан - данные о загрязнении природной среды на СКФМ «Чаткальский БЗ»

Обзор подготовлен в рамках темы НИОКТР 125031703848-8 «Развитие и модернизация методов и технологий комплексного фонового мониторинга и комплексной оценки состояния и загрязнения окружающей среды РФ и ее динамики (по интегрированным результатам сетей мониторинга Росгидромета)».

Обзор подготовлен к изданию редакционной группой ФГБУ «ИГКЭ»: С.Г. Парамонов (руководитель группы), С.А. Громов.

Список авторов разделов текста Обзора представлен на стр.143.

ВВЕДЕНИЕ

Первый выпуск «Обзора фонового состояния окружающей природной среды в СССР» (за 1981 г.), заложивший основу регулярных публикаций данных системы фонового мониторинга, был издан в 1983 г. Система специализированных наблюдений за состоянием и загрязнением природной среды была необходима для отслеживания воздействия антропогенной деятельности на природные экосистемы, в том числе, на биологическое разнообразие, на обширной территории страны за пределами промышленных зон и городских агломераций, а также для своевременного выявления тенденций региональных и глобальных изменений в состоянии окружающей природной среды.

Концепция системы комплексного фонового мониторинга сформулирована академиком Ю.А. Израэлем в 1974 году. 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 1983г.) и параллельно с организацией в СССР первой очереди биосферных заповедников (международная Программа ЮНЕСКО «Человек и биосфера» - МАБ).

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 НП «Бурабай»), Сары-Челекский БЗ (Киргизия), Чаткальский БЗ и 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.

В основу построения системы комплексного фонового мониторинга в нашей стране были положены следующие технологические и организационные принципы:

- 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 содер-

жание 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.

Результаты проводимого в течение более 30 лет фоновый мониторинга достоверно показали присутствие глобальных загрязняющих веществ антропогенного 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.

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 фоновый мониторинга и подготовка ежегодного Обзора фоновый состояния окружающей природной среды на территории СНГ.

Настоящий выпуск продолжает тридцатилетнюю серию ежегодных публикаций о состоянии фоновый загрязнения на территориях, расположенных на значительном удалении от крупных урбанизированных и промышленных центров в границах бывшего СССР. Начиная с 2023 года Обзор выходит только в электронном виде. На основании Приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 11.07.2025 №387 название Обзоров, начиная с 2026 г. изменяется на «Обзор фоновый состояния окружающей среды».

По состоянию на 2024 год в России продолжают функционировать 5 специализированных станции национальной сети КФМ Росгидромета, расположенных в Приокско-Тerrasном, Воронежском, Астраханском, Алтайском и Кавказском БЗ. Продолжаются наблюдения на СКФМ в Березинском БЗ (Республика Беларусь). В 2022 г. по программе КФМ начала работать станция Мариинск, расположенная на Среднем Урале. Данные этих станций составляют информационную основу фоновый мониторинга на территории России и стран СНГ.

Помимо информации КФМ в Обзоре фоновый состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2024 год использованы данные, полученные на сети станций трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ (ЕМЕП), станциях мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ) и сети специализированных станций Глобальной службы атмосферы (ГСА) Всемирной метеорологической организации. Станции, осуществляющие фоновый наблюдения за состоянием природных сред, расположены на ООПТ федерального значения или их охранных зон, некоторые из ООПТ имеют международный статус Объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО (ОВПН). Состав сети фоновый мониторинга Российской Федерации в 2024 году приведен в таблице 1. На рис 1.1 показано размещение станций, осуществляющих фоновый мониторинг в России и странах СНГ. В настоящем Обзоре также представлены данные экспедиционных исследований в рамках выполнения работ по расширению сети СКФМ.

Таблица 1. Состав сети фонового мониторинга Российской Федерации и стран СНГ в 2024 году

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
Кавказский БЗ	СКФМ, ГСА	Кавказский БЗ, ОВПН «Западный Кавказ»
Астраханский БЗ	СКФМ, ГСА	Астраханский БЗ
Яйлю (Алтайский БЗ)	СКФМ	Алтайский БЗ, ОВПН «Золотые горы Алтая»
Мариинск	СКФМ	Средний Урал
Лесной заповедник	ЕМЕП	охранная зона Центрально-Лесного БЗ
Зареченск	ЕМЕП	Мурманская обл., Кандалакшинский р-н.
Пинега	ЕМЕП	охранная зона государственного природного заповедника «Пинежский»
Приморская	ЕАНЕТ	охранная зона Уссурийского БЗ
Листвянка	ЕАНЕТ	Прибайкальский национальный парк, ОВПН «Озеро Байкал»
Монды	ЕАНЕТ	Тункинский национальный парк, ОВПН «Озеро Байкал»
Хужир	ГСА	Прибайкальский национальный парк, ОВПН «Озеро Байкал»
Терней (Сихотэ-Алинский БЗ)	ГСА	охранная зона Сихотэ-Алинского БЗ, ОВПН «Центральный Сихотэ-Алинь»
Териберка	ГСА	-
Усть-Вымь	ГСА	-
Памятная	ГСА	-
Туруханск	ГСА	-
Воейково	ГСА	-
Новый Порт	ГСА	-
Новоляптигорск	ГСА	-
Шаджатмаз	ГСА	-

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.

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.

Обзор подготовлен в рамках темы НИОКТР 125031703848-8 «Развитие и модернизация методов и технологий комплексного фонового мониторинга и комплексной оценки состояния и загрязнения окружающей среды РФ и ее динамики (по интегрированным результатам сетей мониторинга Росгидромета)».

1. АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ И ОСАДКИ

Оценка фонового загрязнения атмосферного воздуха и осадков выполнена по данным сети станций КФМ, ГСА, ЕМЕП, ЕАНЕТ (рис.1.1). Анализ загрязнения атмосферного воздуха подготовлен с использованием осредненных значений концентраций, измеряемых на СКФМ веществ в воздухе за месяцы, сезоны и год, рассчитанных из рядов годового цикла наблюдений с января по декабрь 2024 г. На графиках показаны среднегодовые значения медианы, в осадках средне-взвешенные концентрации.

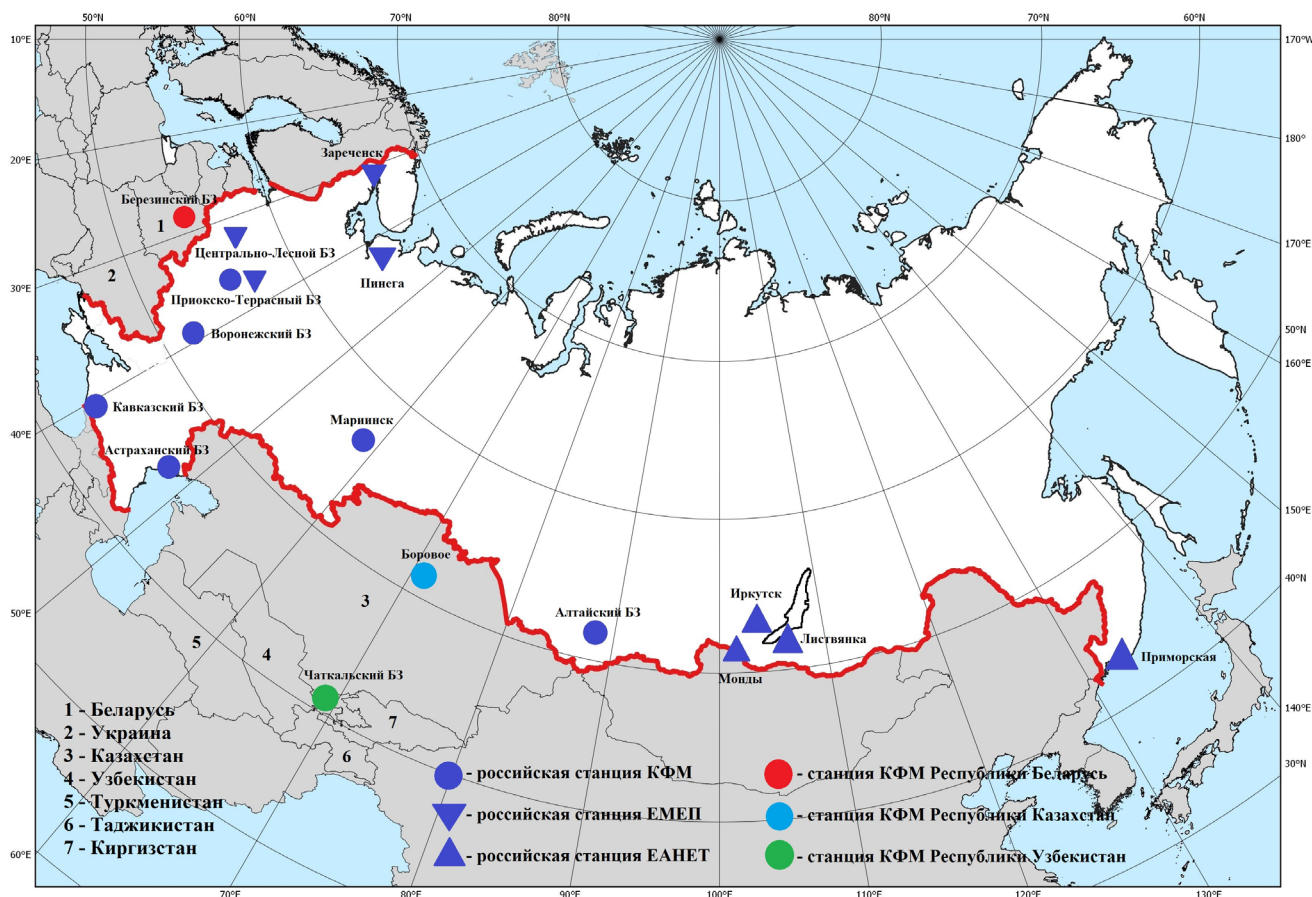


Рис. 1.1. Расположение станций фонового мониторинга природной среды в СНГ

1.1. Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Оценка фонового загрязнения атмосферного воздуха выполнена по данным сети станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ). В 2024 г. наблюдения за фоновым загрязнением атмосферного воздуха тяжелыми металлами проводились на трех СКФМ, обеспечивая необходимый объем информации только для характеристики регионального фонового загрязнения атмосферы в Центральных районах Европейской части России (ЕЧР). Концентрации диоксида серы и азота, помимо станций, расположенных на ЕЧР, определялись на новой СКФМ Мариинск, расположенной на среднем Урале.

Анализ загрязнения атмосферного воздуха подготовлен с использованием осредненных

значений концентраций измеряемых на СКФМ веществ, рассчитанных из рядов годового цикла наблюдений с января по декабрь 2024 г. На графиках показаны среднегодовые значения медианы.

Тяжелые металлы. В 2024 г. в воздухе фоновых районов ЕЧР среднегодовые концентрации свинца составили 2,3–4,6 нг/м³, значимых изменений его содержания в атмосфере фоновых территорий по сравнению с предыдущими годами не произошло, при отмечающемся в последние годы снижении среднегодовых значений (рис. 1.1.1).

Среднегодовые концентрации кадмия в атмосферном воздухе в центральных районах ЕЧР сохранились на уровне, наблюдавшемся в последние годы, и в 2024 г. не превышали 0,12 нг/м³ (табл. 1.1.1).

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 77 нг/м³ для свинца (в Приокско-Тerrasном БЗ) и 8,8 нг/м³ для кадмия (в Воронежском БЗ). На всех территориях уровни содержания свинца и кадмия в воздухе выше в холодный период года.

Фоновое среднее содержание ртути в атмосферном воздухе, измерения которого проводится только в центральном районе ЕЧР, составило 1,68 нг/м³. В отдельные дни содержание достигало 9,4 нг/м³ (табл. 1.1.1).

Взвешенные вещества. В 2024 г. среднегодовые концентрации пыли в воздухе на ЕЧР изменялись в пределах 22–44 мкг/м³, что соответствует уровню значений последних 10 лет (табл. 1.1.1, рис. 1.1.1). Сезонные изменения содержания взвешенных веществ в атмосфере имеют ярко выраженный максимум в теплый период, что обусловлено влиянием природных факторов.

Диоксид серы. В 2024 г. среднегодовые фоновые концентрации диоксида серы на станциях ЕЧР сохранились на низком уровне – около 0,17–0,20 мкг/м³ (рис. 1.1.2). В холодный период года наблюдались более высокие концентрации диоксида серы, увеличиваясь в отдельные сутки до 1,9 мкг/м³ в центре ЕЧР и 3,4 мкг/м³ на среднем Урале (табл. 1.1.1). 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.

Диоксид азота. В 2024 г. среднегодовые фоновые концентрации диоксида азота в воздухе на ЕЧР сохранились на уровне прошлых лет, изменяясь от 3,79 до 5,1 мкг/м³. На среднем Урале концентрации диоксида азота были существенно выше: средние – 7,4 мкг/м³, максимум – 75,9 мкг/м³ (рис. 1.1.2). Сезонные изменения фоновых концентраций диоксида азота ясно

выражены: в холодный период наблюдаются максимальные значения и повышается повторяемость среднесуточных высоких концентраций (табл. 1.1.1).

Сульфаты. В 2024 г. среднегодовые фоновые концентрации сульфатов в центре ЕЧР составили около 0,8 мкг/м³, при этом значения меньше 3 мкг/м³ были зарегистрированы в 95% измерений (рис. 1.1.2). В целом, относительно повышенные концентрации сульфатов в центре ЕЧР 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 ЕЧР за последние 10 лет после их уменьшения в предыдущие годы.

Таблица 1.1.1. Результаты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха на станциях комплексного фоновых мониторинга в 2024 г. (*числитель – среднегодовое значение медианы, знаменатель – интервал изменений суточных концентраций*)

Загрязняющие вещества	Приокско-Тerrasный БЗ	Воронежский БЗ	Мариинск
Pb, нг/м ³	<u>4,58</u> 0,20-76,6	<u>2,30</u> 0,10-10,00	
Cd, нг/м ³	<u>0,11</u> 0,01-6,75	<u>0,12</u> 0,003-8,80	
Hg, нг/м ³	<u>1,68</u> 0,01-9,40		
SO ₂ , мкг/м ³	<u>0,17</u> 0,01-1,92	<u>0,20</u> 0,02-1,41	<u>0,10</u> 0,01-3,40
NO ₂ , мкг/м ³	<u>5,12</u> 0,78 -34,40	<u>3,79</u> 1.11-12,92	<u>7,4</u> 1,00-75,9
Сульфаты, мкг/м ³	<u>0,80</u> 0,01-17,8		
Взвешенные вещества, мкг/м ³	<u>44,0</u> 3,00-294,0	<u>24,0</u> 9,0-32,0	

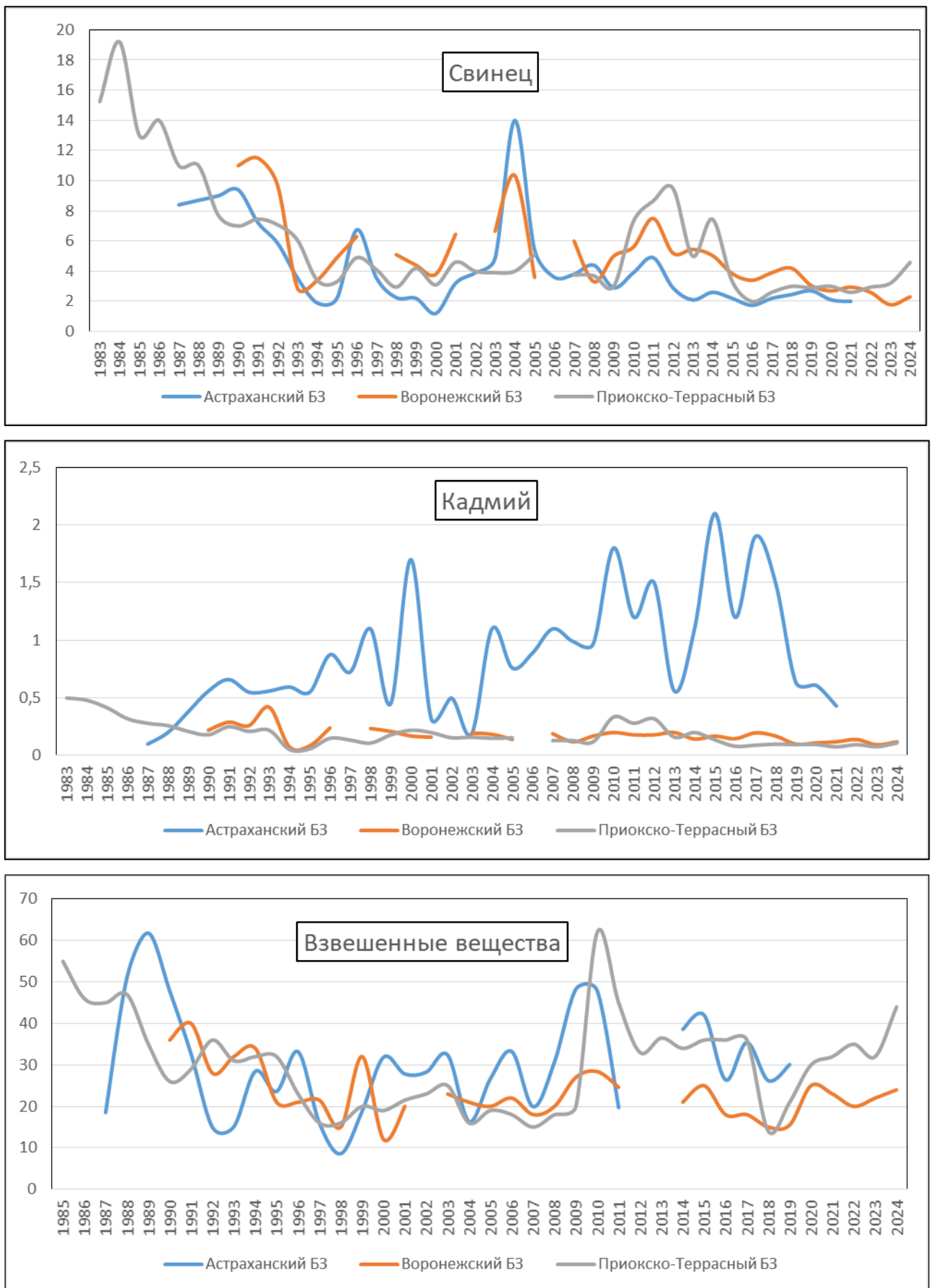


Рис. 1.1.1. Изменение среднегодового содержания свинца, кадмия ($нг/м^3$), взвешенных веществ ($мкг/м^3$) в атмосферном воздухе фоновых районов

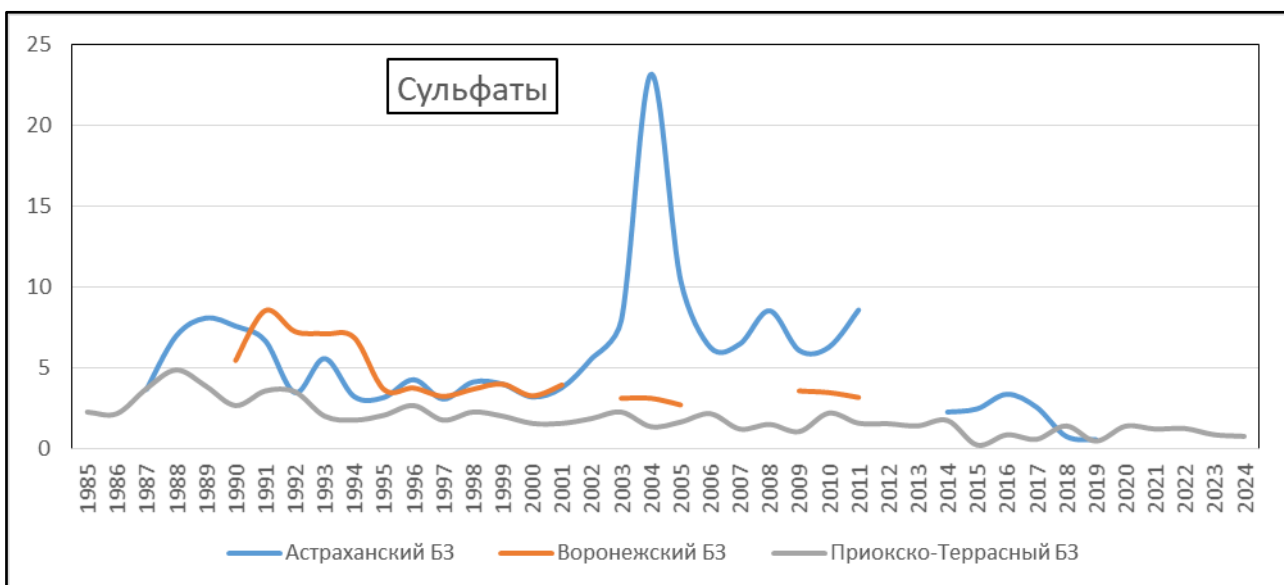
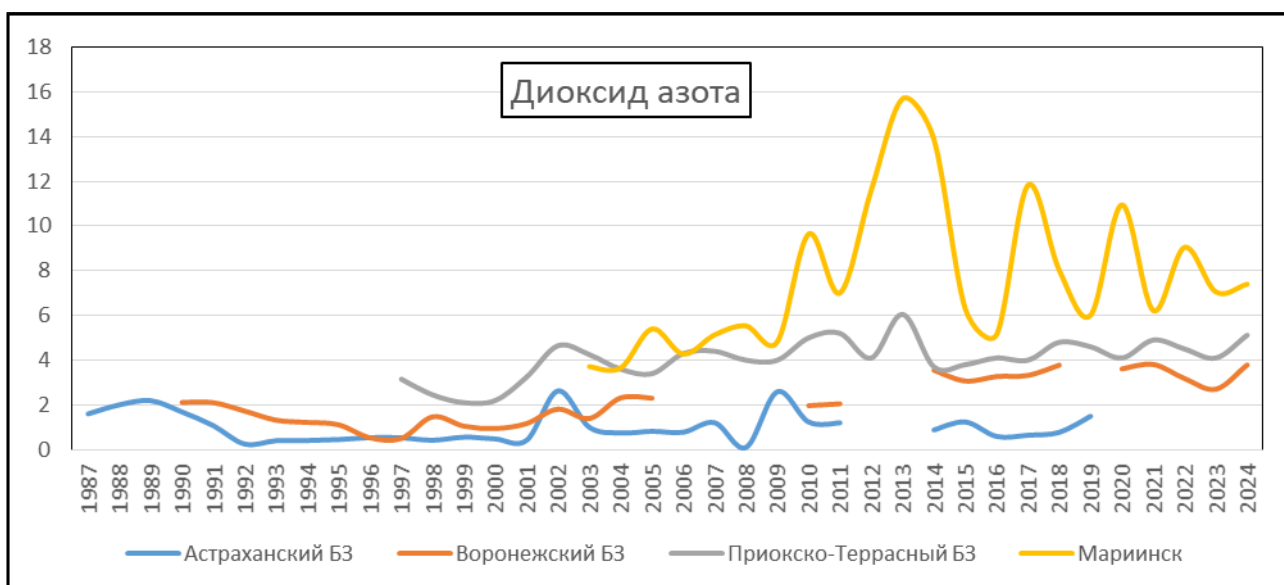
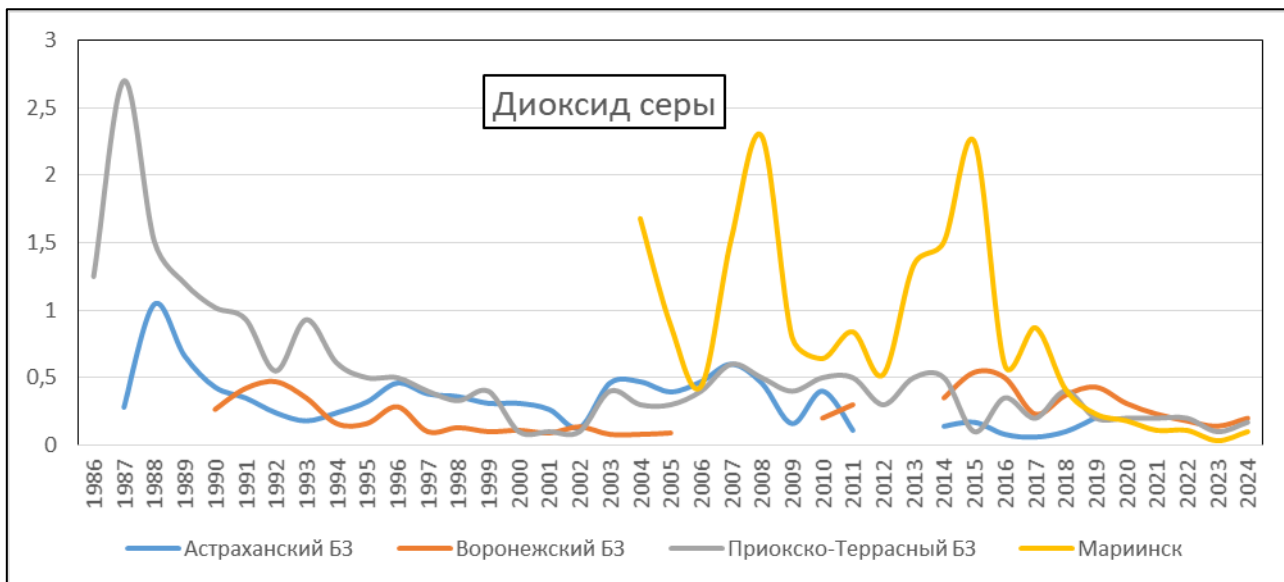


Рис. 1.1.2. Изменение фонового содержания диоксида серы, сульфатов и диоксида азота в атмосферном воздухе фоновых районов ($\mu\text{кг}/\text{м}^3$)

1.2. Физические и химические характеристики атмосферы

1.2.1. Углекислый газ и метан

Анализ изменчивости концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы выполнен на основе анализа результатов измерений, проводимых на станциях наблюдений за содержанием парниковых газов, входящих в Глобальную службу атмосферы (ГСА). Характеристики станций приведены в таблице 1.2.1.1. Станция Териберка (Кольский полуостров, побережье Баренцева моря) и станция Тикси (побережье море Лаптевых, залив Сого), а также Мыс Баранова (о-в Большевик архипелага Северная Земля) расположены в условиях, близких к фоновым. Из-за недостаточности полученных на станции Тикси данных в 2024 г. для анализа были использованы данные ледовой базы Мыс Баранова. Станции Новый Порт (п-ов Ямал, берег Обской губы) и Воейково (пригород Санкт-Петербурга) находятся в районах крупномасштабных антропогенных источников парниковых газов. Для сравнения с данными наблюдений на российских станциях были привлечены данные станции Барроу (71,3° с. ш., 156,6° з. д.), представленной в Мировом центре данных (МЦД) ВМО по парниковым газам (WDCGG) и расположенной в том же широтном поясе.

Данные станции Териберка передаются в мировой центр данных (МЦД) по парниковым газам (WDCGG), где используются при проведении глобального анализа полей указанных газов. Данные станции Тикси передавались в МЦД ВМО по 2021 г. включительно. На станции Воейково расширена программа наблюдений, с 2021 г. на этой станции выполняются измерения концентрации CO₂.

Таблица 1.2.1.1. Станции наблюдений за парниковыми газами

Станция	Широта	Долгота	Высота над у.м.	Период наблюдений	Программа наблюдений
Териберка	69,20° с. ш.	35,10° в. д.	40	с 1988	CO ₂ , CH ₄ с 1996 г.
Новый порт	67,68° с. ш.	72,88° в. д.	11	с 2002	CO ₂ , CH ₄
Тикси	71,58° с. ш.	128,92° в. д.	30	с 2011	CO ₂ , CH ₄
Воейково	59,98° с. ш.	30,70° в. д.	72	с 1996	CH ₄ , CO ₂ с 2021 г.
Мыс Баранова	79,16° с. ш.	101,45° в. д.	30	с 2016	CO ₂ , CH ₄

Рост концентрации основного парникового газа CO₂ на станции Териберка с самым длительным рядом наблюдений на территории Российской Федерации представлен на рис. 1.2.1.1. В таблице 1.2.1.2 приведены результаты измерений концентрации CH₄ и CO₂ за последние 12 лет.

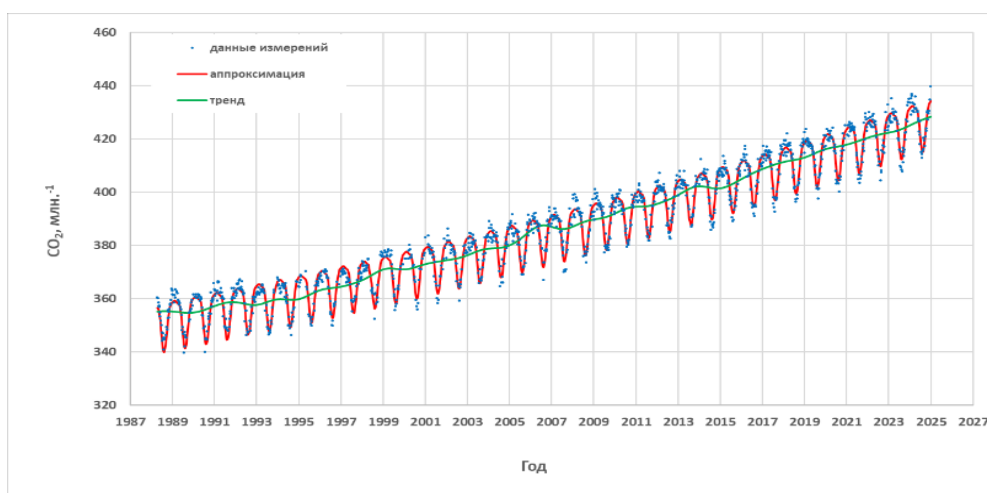


Рис. 1.2.1.1. Временной ход концентрации CO₂ на станции Териберка

Уровень концентрации CO₂ в атмосфере северных широт достиг в 2024 г. очередного максимума. Среднегодовое значение концентрации CO₂ на станции Териберка составило 426,4 млн⁻¹, а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили 433 млн⁻¹. Снизившиеся в 2023 г. темпы роста концентрации CO₂ ($\Delta\text{CO}_2 = 2,0 \text{ млн}^{-1}$), вновь превысили среднеглобальное значение, составив 3,0 млн⁻¹/год для 2024 г.

Таблица 1.2.1.2. Среднегодовые значения и межгодовой рост (Δ) концентрации CH₄ и CO₂ на станции Териберка

Год	Териберка			
	CH ₄ , млрд ⁻¹	ΔCH_4 , млрд ⁻¹	CO ₂ , млн ⁻¹	ΔCO_2 , млн ⁻¹
2013	1907,8	-2,4	398,8	2,2
2014	1913,5	5,7	400,7	1,9
2015	1924,4	10,9	402,2	1,5
2016	1946,7	22,3	405,7	3,4
2017	1947,1	0,4	409,1	3,5
2018	1950,4	3,3	411,4	2,2
2019	1961,8	11,4	414,1	2,7
2020	1980,4	18,6	415,8	1,8
2021	1999,1	18,7	418,5	2,6
2022	2017,9	18,8	421,4	3,0
2023	2022,6	4,7	423,4	2,0
2024	2032,4	9,8	426,4	3,0

Рост концентрации CH₄ также продолжается, однако рекордное ускорение роста, наблюдавшееся в 2019-2022 гг., сменилось незначительным увеличением в 2023 г. (4,7 млрд⁻¹/год) и близким к среднеглобальному значению в 2024 г. (9,8 млрд⁻¹/год).

Среднегодовой абсолютный прирост за последние 10 лет (бюллетень ВМО по парниковым газам № 20, октябрь 2024 г.) составил 2,4 млн⁻¹ для CO₂ и 10,7 млрд⁻¹ для CH₄.

Описанные выше основные тенденции изменения межгодовой изменчивости концентрации ПГ в фоновых условиях для северных широт показаны на рис. 1.2.1.2 на примере

станций Териберка и Барроу.

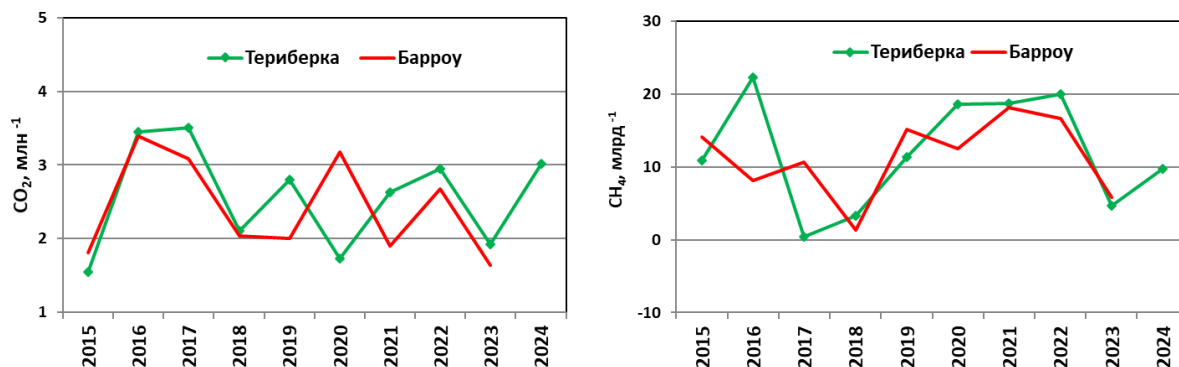


Рис. 1.2.1.2. Межгодовая изменчивость концентрации CO_2 и CH_4 на станциях Териберка и Барроу за последние 10 лет измерений

Научные исследования, направленные на выяснение возможных причин изменения межгодового роста концентрации парниковых газов, представлены в Бюллетене ВМО по ПГ № 20, октябрь 2024 г. Совместное рассмотрение изменений концентрации и изотопного состава метана со временем свидетельствует о существенной роли биогенных источников в этом процессе. Пока неясно, происходит ли это отчасти из-за увеличения выбросов из естественных водно-болотных угодий как обратной климатической связи.

В то время, как долгосрочное увеличение CO_2 , вызванное сжиганием ископаемого топлива, является монотонным, темпы роста CO_2 меняются из года в год (в диапазоне от 2,1 млн⁻¹ до 3,2 млн⁻¹ с 2014 по 2023 гг.), при этом изменчивость, в основном, обусловлена обменом CO_2 в земной биосфере, что подтверждается измерениями изотопного соотношения углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в атмосферном CO_2 . Существенное влияние на эти процессы оказывают лесные пожары.

Результаты мониторинга парниковых газов на российских арктических станциях представлены на рис. 1.2.1.3 (среднемесячные значения концентрации CO_2 и CH_4) в сравнении с данными станции Барроу.

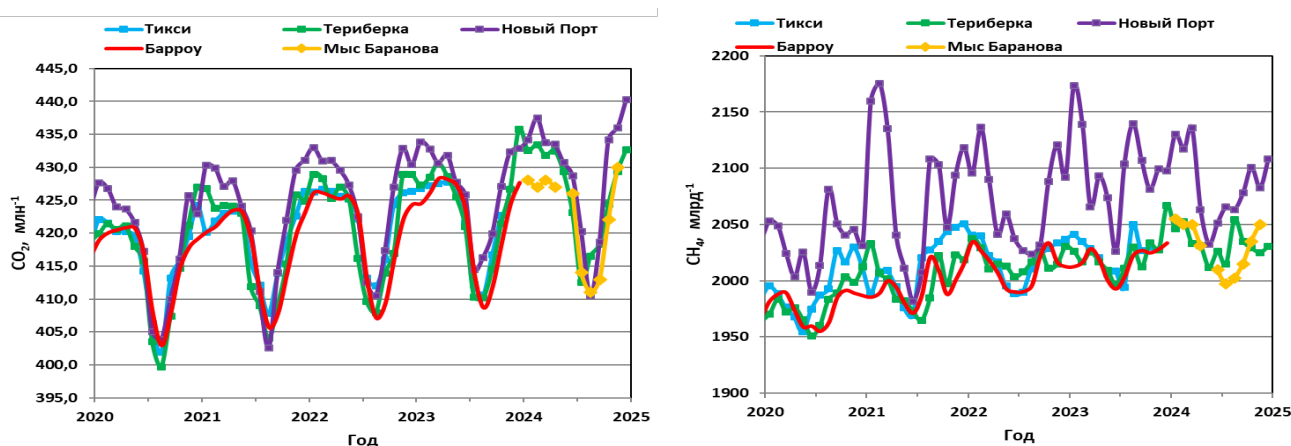


Рис. 1.2.1.3. Временной ход концентрации CO_2 и CH_4 на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу

Как видно из рис. 1.2.1.3 результаты измерений станции Мыс Баранова хорошо согласуются с данными других фоновых станций. После дополнительной проверки сопоставимости данные этой станции могут быть использованы для оценки тенденций изменения концентрации парниковых газов в арктическом регионе.

Как уже отмечалось в предыдущих выпусках обзоров, для станций, расположенных в окрестностях крупномасштабных источников, долговременные значения трендов близки к среднеглобальным. Региональные особенности поля концентрации парниковых газов (ПГ) проявляются в увеличении концентрации по сравнению с фоновым уровнем. Обеспечение сопоставимости данных в соответствии с требованиями ВМО позволяет проводить сравнение абсолютной величины концентрации для разных станций. Из представленного рис. 1.2.1.4 видно, что на станции Воейково значения концентрации CO₂ выше данных станции Териберка, при этом уровень минимальных значений близок к фоновым значениям, регистрируемым на станции Териберка, а влияние антропогенных выбросов с территории Санкт-Петербурга приводит к увеличению концентрации, которое достигает 40-60 млн⁻¹.

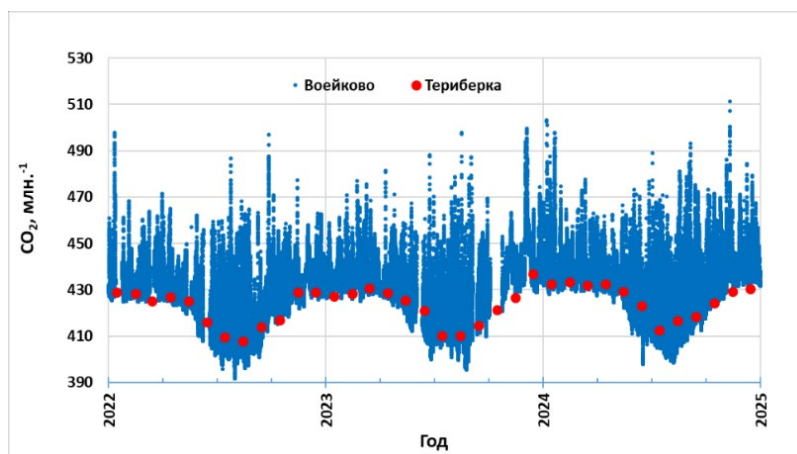


Рис. 1.2.1.4. Временной ход концентрации CO₂ в Воейково (средние значения за 10 мин.) в сравнении с данными станции Териберка (среднемесячные значения)

Полученные значения превышения концентрации над фоновым уровнем для станций Новый Порт и Воейково для всего периода наблюдений и последнего года представлены в таблице 1.2.1.3. При определении превышения в качестве фонового уровня использованы данные станции Териберка.

Таблица 1.2.1.3. Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем

Станция	Новый Порт	Новый Порт	Воейково	Воейково
Период измерений	2004-2023	2024	1996-2022	2024
CH ₄ , млрд ⁻¹	73 ± 17	53	81 ± 17	101
CH ₄ , %	3,8%	2,6%	4,2%	5,0%
CO ₂ , млн ⁻¹	4,3 ± 1,2	3,5	-	7,6
CO ₂ , %	1,1%	0,8%	-	1,8%

Станция Новый Порт расположена на побережье Обской губы на расстоянии 80-250 км от крупнейших в РФ месторождений природного газа и в 20 км от нефтяного месторождения «Новопортовское». Данные измерений на этой станции подвержены влиянию как техногенных, так и естественных (увлажненные территории) источников. Максимальные значения превышения наблюдаются в зимний период, в основном, за счет снижения высоты слоя перемешивания атмосферы и достигают 10 млн^{-1} для CO_2 и $150 - 180 \text{ млрд}^{-1}$ для CH_4 . Станция Воейково испытывает влияние антропогенной эмиссии парниковых газов с территории крупного промышленного центра Санкт-Петербурга.

Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем в 2024 г. на станции Новый порт несколько снизилось по сравнению с предыдущим периодом, а влияние выбросов с городской территории привело к увеличению рассматриваемого превышения для станции Воейково. Эти изменения, тем не менее, близки к диапазону вариаций, наблюдаемому за многолетний период.

Содержание диоксида углерода и метана в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско–Тerrasном биосферном заповеднике в 2024 году

Наблюдения за содержанием парниковых газов в приземном слое атмосферного воздуха на станции комплексного фонового мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике проводятся с 2006 года для метана и с 2011 года для диоксида углерода.

В 2024 году на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике, как и в предыдущие годы, наблюдается увеличение концентрации исследуемых парниковых газов в приземном слое атмосферного воздуха.

Изменения содержания диоксида углерода по результатам измерений, выполненных в течение 2024 года, представлены на рисунке 1.2.1.5. Среднемесячные концентрации диоксида углерода в 2024 году варьировали в интервале от $417,4 \text{ млн}^{-1}$ до $492,3 \text{ млн}^{-1}$. Минимальные в течение года концентрации диоксида углерода регистрируются в летний период, что является типичным для сезонной изменчивости CO_2 , наблюдаемой в средних широтах Северного полушария. Минимальная среднемесячная концентрация CO_2 в 2024 году была зарегистрирована в июне, она составила $417,4 \text{ млн}^{-1}$, при этом минимальная разовая концентрация CO_2 была равна $410,5 \text{ млн}^{-1}$ (27 июня 2024 года). Максимальные среднемесячные концентрации CO_2 в приземном слое атмосферы наблюдались в холодный период (с января по февраль и с октября по декабрь). Максимальная разовая концентрация CO_2 была зарегистрирована в конце октября (26 октября 2024 года), она составила $500,8 \text{ млн}^{-1}$, впервые за весь период наблюдения превысив отметку 500 млн^{-1} . Среднегодовая концентрация диоксида углерода в приземном слое воздуха на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике в 2024 году составила $457,9 \text{ млн}^{-1}$. За всё время наблюдений с 2011 года абсолютный прирост среднегодовой концентрации диоксида

углерода в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике составил $+ 45,1 \text{ млн.}^{-1}$, что соответствует средней годовой скорости роста концентрации CO_2 $3,5 \text{ млн.}^{-1}/\text{год}$. По данным ежегодного Бюллетеня ВМО по парниковым газам за 2023 год (<https://library.wmo.int/records/item/69057-no-20-28-october-2024>) среднегодовой абсолютный прирост глобальной концентрации диоксида углерода за последние 10 лет составляет $2,4 \text{ млн.}^{-1}$ в год. Как видно, среднегодовая скорость роста концентрации диоксида углерода в приземном слое воздуха на станции фонового мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике несколько выше глобального тренда.

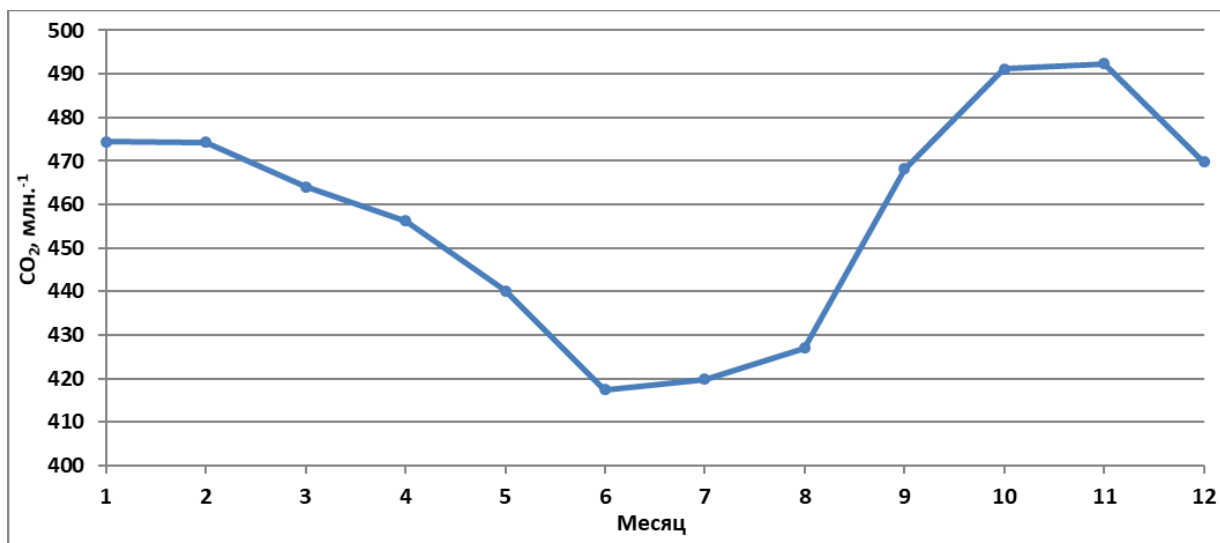


Рис. 1.2.1.5. Изменение среднемесячных концентраций CO_2 в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике в 2024 году.

Сезонный ход среднемесячных концентраций метана в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике по результатам измерений, выполненных в течение 2024 года, представлены на рисунке 1.2.1.6.

В 2024 году среднемесячные концентрации метана изменялись в диапазоне от $2027,2 \text{ млрд.}^{-1}$ до $2168,3 \text{ млрд.}^{-1}$. Наименьшие концентрации метана в приземном слое атмосферы наблюдаются в весенне-летний период с мая по июль, что, согласно данным станций наблюдений, расположенных в средних широтах Северного полушария, характерно для сезонных изменений содержания метана в воздухе. Минимальная разовая концентрация метана была зарегистрирована в мае (18 мая 2024), в данный день содержание метана в приземном слое атмосферы было равно $1986,6 \text{ млрд.}^{-1}$. Максимальные среднемесячные концентрации метана в воздухе наблюдались в январе и с октября по декабрь, превышая значение 2150 млрд.^{-1} .

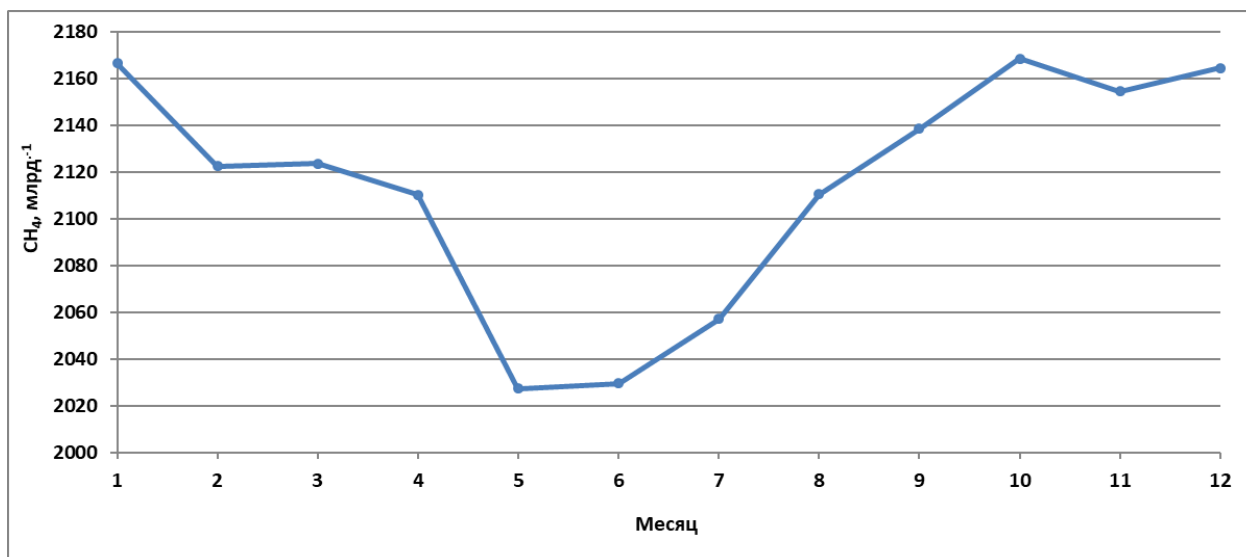


Рис. 1.2.1.6. Изменение среднемесячных концентраций CH₄ в приземном слое атмосферы на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике в 2024 году.

Среднегодовая концентрация метана в приземном воздухе на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике в 2024 году составила 2114,3 млрд.⁻¹. По сравнению с предшествующим годом рост среднегодовой концентрации метана составил 18,1 млрд.⁻¹. За весь период наблюдений, проводимых на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике с 2006 года, среднегодовая концентрация метана выросла на 198,3 млрд.⁻¹, следовательно, средний годовой абсолютный прирост содержания метана в воздухе равен 11,02 млрд.⁻¹ в год. Согласно Бюллетеню ВМО по парниковым газам за 2023 год среднегодовой абсолютный прирост глобальной концентрации метана за последние 10 лет составляет 10,7 млрд.⁻¹. Таким образом, среднегодовая скорость роста концентрации метана в приземном слое воздуха на станции фонового мониторинга в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике близка к глобальным значениям данного показателя.

1.2.2. Общее содержание озона.

В 2024 г. анализ общего содержания озона (OCO) над территорией РФ выполнен по данным спутниковой аппаратуры озонного зондирования OMI (Ozone Monitoring Instrument), установленной на спутнике «AURA» (НАСА США). Используемый спектрометром OMI метод наблюдения (рассеянное солнечное излучение, надир) не позволяет проводить измерения в области полярной ночи в зимние месяцы, включая северные районы РФ.

Для выявления аномалий проводились сравнения текущих измерений OCO со средними многолетними значениями, полученными при осреднении данных измерений прибора TOMS (спутник «NIMBUS-7») за 1978–1988 гг.

Аномалии ОСО над территорией РФ.

В январе 2024 г. над территорией РФ периодически наблюдалось понижение ОСО над Европейской частью РФ, Западной и Восточной Сибирью. Существенно пониженные значения ОСО наблюдались с 24 января и в течение февраля над Европейским Севером, северными и центральными районами Западной и Восточной Сибири. 31 января было отмечено понижение ОСО до 320 единиц Добсона (далее - е. Д.), что соответствует -30% или -2.0 ед. стандартного отклонения, 19 февраля до 275 е. Д. (-32% или -2,5 ед. стандартного отклонения).

Отличие среднемесячных значений ОСО от средних многолетних значений в январе не превышало $\pm 4\%$. Осредненное за февраль поле отклонений ОСО показывает пониженное содержание озона над центральными и северными районами Красноярского края до 400 е. Д. (-20% или -2,5 ед. стандартного отклонения) (рис. 1.2.2.1).

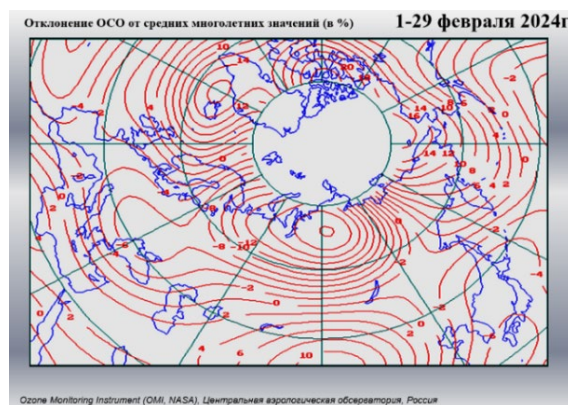


Рис. 1.2.2.1. Среднемесячное поле отклонений ОСО от средних многолетних значений (в %) над территорией РФ за февраль 2024 г.

В течение марта 2024 г. наблюдались как пониженные значения ОСО, так и повышенные. Стабильное повышение (в пределах зоны измерений) было отмечено над Арктикой и над северными районами Европейского Севера и Сибири. Отклонения от средних многолетних значений в отдельные дни составили до 35%. Например, 12 марта ОСО увеличилось до 620 е. Д. (35% или 2,5 ед. стандартного отклонения). На осредненном поле отклонений ОСО за март наблюдалось умеренное изменение содержания озона практически над всей материковой территорией РФ, а также повышение ОСО над Баренцевым и Карским морем, островами Земли Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля, Шпицберген до 540 е. Д., (20% или 2,5 ед. стандартного отклонения) (рис. 1.2.2.2).

В целом, зимний сезон 2023-2024 гг. в Арктике стал очередным четвертым теплым сезоном после зимы 2019-2020 гг. с устойчивым, холодным стратосферным полярным вихрем и, как следствие, с рекордным разрушением озонового слоя за все годы наблюдений. Основной особенностью зимнего сезона 2023-2024 гг. является ослабление стратосферного полярного вихря и повышение температуры стратосферы в ходе минорного внезапного стратосферного

потепления (ВСП), начавшегося в начале декабря 2023 г., которое продолжилось в конце декабря – начале января и далее в середине января в ходе второго ВСП.

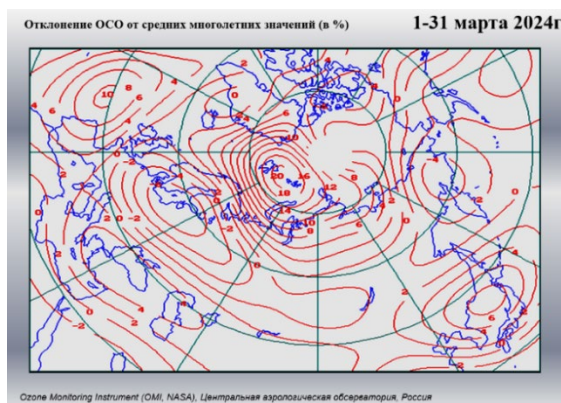


Рис. 1.2.2.2. Среднемесячное поле отклонений ОСО от средних многолетних значений (в процентах) над территорией РФ за март 2024 г.

В результате ослабления стратосферного полярного вихря с конца декабря минимальная температура в нижней стратосфере Арктики превысила порог формирования полярных стратосферных облаков (ПСО), необходимых для химического разрушения озонового слоя, и достигла уровня климатических значений. Известно, что объём ПСО к началу весны определяет степень химического разрушения озонового слоя. В результате повышения температуры стратосферы резко сократился объём ПСО от ~120 млн. км³ до ~20 млн. км³ в конце декабря 2023 г. К концу января 2024 г. объём ПСО снизился до нулевых значений и уже не увеличился в феврале.

В результате отсутствия химического разрушения озона из-за повышенной температуры полярной стратосферы уже с начала января 2024 г. ОСО в Арктике превысило средние многолетние значения и продолжило увеличиваться (рис. 1.2.2.3). В марте значения ОСО достигли порядка 500 е. Д. и превысили максимальные значения за все годы наблюдений.

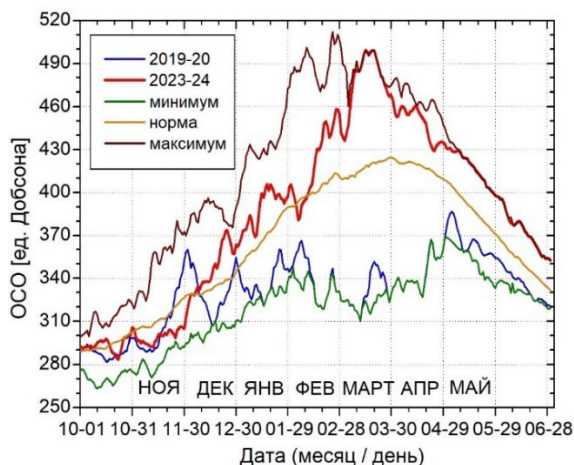


Рис. 1.2.2.3. ОСО в Арктике в области 60°-90° с.ш. с октября по июнь в зимне-весенние сезоны 2019-2020 г. и 2023-2024 г., а также значения ОСО: климатические (норма), минимальные и максимальные за период с 1978 г. по 2024 г. по данным реанализа MERRA2.

С 15 по 22 апреля 2024 г. наблюдались заниженные, более чем на –20% значения ОСО над южными районами Европейской части РФ, Уралом и центральными и южными районами Западной Сибири. 19 и 20 апреля отклонение ОСО составило -28%, а ОСО - 280 е. Д. На осредненном за апрель поле отклонений наблюдалось понижение ОСО над Европейским югом, Поволжьем и Центральной Россией до 350 е. Д. (-8% или -1,5 ед. стандартного отклонения).

Пониженные значения ОСО были отмечены над Иркутской областью, Республикой Бурятия и Забайкальским краем 6 - 7 мая 340 е. Д. (-18%) и 12 мая - 300 е. Д. (-24%). С 27 по 31 мая наблюдалось повышение ОСО над районами Западной и Восточной Сибири. При этом 29 и 30 мая отклонение от норм составило 18% (ОСО 480 е. Д.). На осредненном за май поле отклонений выделялась область умеренно повышенных значений до 440 е. Д. (8% или 2,0 ед. стандартного отклонения) над восточными районами Европейского Севера, Уралом, Поволжьем и западными районами Западной Сибири, а также область умеренно пониженных значений до 350 е. Д. (-8% или -2.0 ед. стандартного отклонения) над Иркутской областью, Республикой Бурятия, Забайкальским краем и приграничными районами КНР.

1-5 июня наблюдалось повышение ОСО до 460 е. Д. (14%), а 19 июня до 420 е. Д. (16%) над северными районами Сибири. Понижение ОСО до 300 е. Д. (-14%) было отмечено в последних числах июня над Восточной Сибирью. В целом отличия среднемесячных значений от норм не превышали $\pm 6\%$.

19 и 20 июля непродолжительное понижение ОСО до -14% (300 е. Д.) наблюдалось над Сахалином и Курилами. Максимальные среднемесячные отклонения ОСО от нормальных значений составили -6% (320 е. Д.) над озером Байкал и прилегающими территориями и -4% (340 е. Д.) над Курилами.

6 и с 12 по 15 августа наблюдалось понижение ОСО до 280 е. Д. (-14%) над Сахалином, Курилами и югом Камчатки. С 16 по 22 августа отмечено понижение ОСО над Хабаровским краем, Амурской областью, Забайкальским краем, Республикой Бурятия и Иркутской областью. 21 августа оно составило 270 е. Д. (-16%). Максимальные среднемесячные отклонения ОСО составили -6% или -1,0 ед. стандартного отклонения (310 е. Д.) над озером Байкал и прилегающими территориями и -6% или -1,0 ед. стандартного отклонения (300 е. Д.) над Курилами.

В течение сентября 2024 г. над территорией РФ появлялись зоны более или менее пониженного и повышенного ОСО в диапазоне $\pm 12\%$. С 20 сентября наблюдалось повышение ОСО более чем на +18% над Арктическим регионом. 26 сентября превышение составило 36% (ОСО 370 е. Д.). Максимальные среднемесячные отклонения ОСО от норм в сентябре составили -10% или -2,0 ед. стандартного отклонения (ОСО 280 е. Д.) над Европейской частью РФ и Западной Сибирью, и 10% или 2,0 ед. стандартного отклонения (ОСО 300 е. Д.) над

Арктикой.

С 30 сентября по 24 октября наблюдались области пониженного ОСО над Хабаровским и Приморским краем, Сахалином, Курилами, югом Камчатки. 2 октября ОСО понизилось до 240 е. Д. (-26%). Максимальные среднемесячные отклонения ОСО от нормальных значений составили -10% или -3,0 ед. стандартного отклонения (300 е. Д.) над Курилами.

В конце октября и в начале ноября в северных районах Европейского Севера и Западной Сибири в области близкой к границе измерений наблюдалось значительное превышение ОСО над средними многолетними значениями. 2 ноября оно составило 42% (ОСО 400 е. Д.). Над остальной территорией РФ в течение месяца чередовались области умеренно пониженного и повышенного ОСО. Максимальные среднемесячные отклонения ОСО от нормальных значений (в пределах области измерений) наблюдались по границе измерений над северными районами Европейского Севера и Сибири и составили 12% - 14% (ОСО 320 - 340 е. Д.).

В течение декабря 2024 г. значительная часть территории РФ (северные районы) находилась вне зоны измерений из-за полярной ночи. В пределах области измерений наблюдались как положительные, так и отрицательные непродолжительные аномалии ОСО. В декабре максимальные среднемесячные отклонения ОСО от норм наблюдались по границе измерений над центральными районами Западной и Восточной Сибири, а также над Дальневосточным регионом и составили 6% (ОСО 320 - 440 е. Д.).

Особенности состояния озонового слоя над регионами РФ

Анализ полученных результатов измерений ОСО на озонметрических станциях в 2024 г., так же как и в предыдущие годы, был произведен на основе распределения поля ОСО над территорией РФ на регионы со сравнительно однородным содержанием озона: Север Европейской части России (Север ЕЧР), Юг Европейской части России (ЮГ ЕЧР), Западная Сибирь (ЗС), Восточная Сибирь (ВС) и Дальний Восток (ДВ).

Использование на сети фильтровых озонметров М-124 с единой методикой измерений, постоянный контроль и отбор достоверной информации позволяет получать данные ОСО с высокой степенью надежности. Для анализа также привлекались комплексные карты состояния озонового слоя атмосферы с сайта Канадского центра исследований окружающей среды <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca>.

Перечень станций, данные которых использованы в Обзоре, их распределение по регионам и принадлежность к определенным субъектам Российской Федерации приведены в таблице 1.2.2.1. В перечень вошли 28 станций Росгидромета и 1 станция СО РАН (Томск). Отдельно для анализа по Арктическому региону использовались данные, полученные на научно-исследовательской станции ААНИИ (мыс Баранова).

Продолжительность наблюдений ОСО на большинстве станций к настоящему времени составляет около 50 лет. Многолетние ряды демонстрируют существенные и преимущественно меридиональные различия сезонного хода ОСО на протяженной территории РФ. С 2022 г. в качестве единого периода для расчета норм климатических характеристик был принят интервал с 1991 по 2020 гг. В настоящем Обзоре при анализе данных использованы новые нормы, которые были рассчитаны для указанных выше пяти регионов РФ (таблица 1.2.2.2, рис. 1.2.2.4).

Таблица 1.2.2.1. Распределение по регионам и федеральным округам озонотрических станций, данные которых в 2024 г. удовлетворяли требованиям ВМО

Регион	Федеральные округа	Станции
Север Европейской части России (Север ЕЧР)	Северо-западный и Центральный	Баренцбург, Мурманск, Архангельск, Печора, Санкт-Петербург, Москва
Юг Европейской части России (Юг ЕЧР)	Центральный, Южный и Приволжский	Цимлянск, Карадаг, Самара, Воронеж
Западная Сибирь (ЗС)	Уральский и Сибирский	о-в Хейса, Ханты-Мансийск, Екатеринбург, Омск, Томск, Туруханск
Восточная Сибирь (ВС)	Сибирский и Дальневосточный	Тикси, Якутск, Оленек, о-в. Котельный, Тура, Витим, Красноярск, Иркутск
Дальний Восток (ДВ)	Дальневосточный	Магадан, Южно-Сахалинск, Петропавловск-Камчатский, Владивосток, Николаевск на Амуре

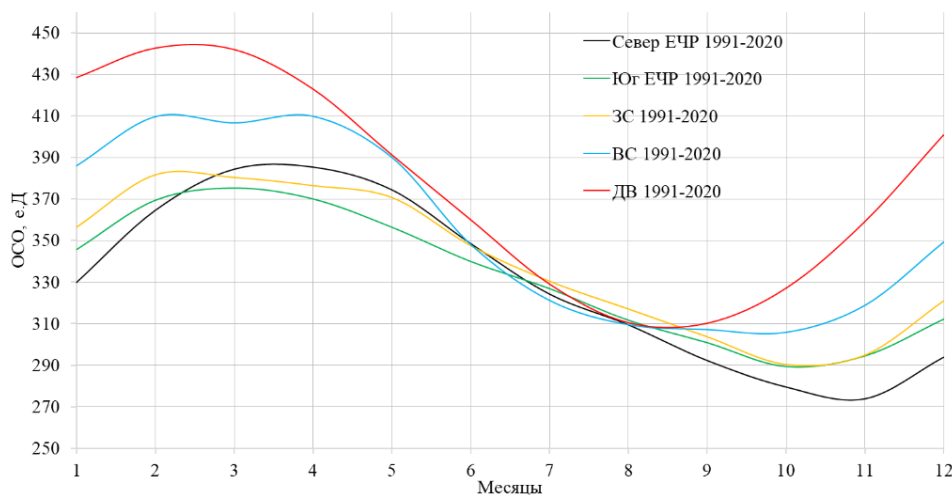


Рис. 1.2.2.4. Новые региональные нормы (1991-2020 гг.).

Многолетние вариации ОСО над территорией РФ

Среднегодовые значения отклонений ОСО над территорией РФ в целом за 1973–2024 гг. представлены на рис. 1.2.2.5.

Весь 50-летний ряд значений ОСО может быть разделен на четыре периода, для которых тренд межгодовых изменений ОСО был различен:

- 1973–1993 гг. – значительное уменьшение ОСО (-1,5 е.Д./год);
- 1993–1999 гг. – значительный рост ОСО (более 3,0 е.Д./год);
- 1999–2012 гг. – понижение ОСО (-0,7 е.Д./год);
- 2012–2024 гг. – рост ОСО (0,45 е.Д./год);

Если объединить последние два периода в один (1999–2024 гг.), то мы видим близкий к норме, почти нейтральный, общий тренд при существенных межгодовых колебаниях.

Начало наблюдений ОСО на сети Росгидромета выпало на период высокого содержания озона в атмосфере, поэтому отклонения от новой нормы до 1989 г. исключительно положительны, но величина этих отклонений быстро уменьшается. Минимальная толщина озонового слоя наблюдалась в 1993 г., после чего уровень ОСО несколько повысился и, несмотря на очень значительные межгодовые колебания, в среднем этот уровень сохраняется до настоящего времени.

Среднее значение ОСО за весь период наблюдений (351 е.Д.) выше нормы, поскольку в новую норму не вошел период до 1990 г., для которого было характерно высокое содержание озона в атмосфере.

В течение 1973–2024 гг. толщина озонового слоя ниже нормы (347 е.Д.) более чем на 2% наблюдалась в следующие годы: 1992 г. (-3,8%), 1993 г. (-5,5%), 1995 г. (-4,1%), 2008 г. (-3,5%), 2011 г. (-3,9%), 2020 г. (-2,8%).

Среднегодовые значения ОСО выше нормы наблюдалась в период 1973-1982 гг. (до +7,5%) и в следующие годы: 1984 г. (+2,9%), 1985 г. (+2,6%), 1987 г. (+4,1%), 1998 г. (+4%), 2006 г. (+2,7%), 2010 г. (+2,9%), 2018 г. (+2,6%), 2019 г. (+3%), 2024 г. (+4,4%).

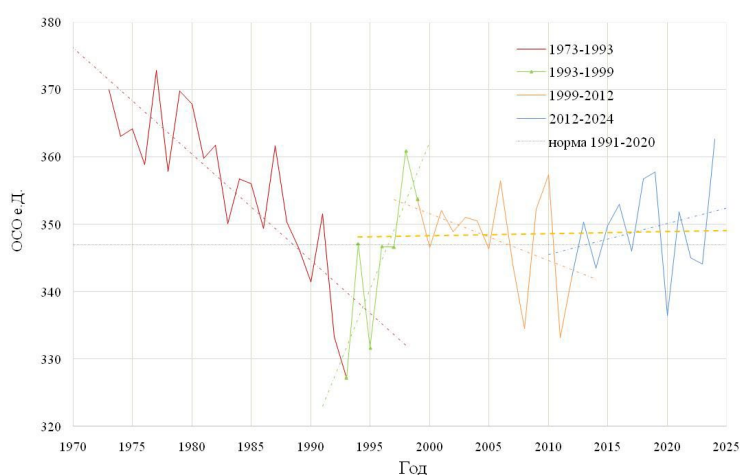


Рис. 1.2.2.5. Среднегодовые значения ОСО над территорией РФ в период 1973–2024 гг.

В течение 50 лет наблюдений за содержанием ОСО над РФ отчетливо проявилось чередование максимумов и минимумов среднегодовых значений ОСО с периодом 2,4 года с «квазидвухлетней» цикличностью. Также при рассмотрении полного ряда данных, длительность

которого составляет более пятидесяти лет, прослеживается связь с квазиодиннадцатилетним и квазидвадцатидвухлетним циклами.

Вариации поля ОСО над регионами РФ в 2024 г.

Результаты расчета ежемесячных и среднегодовых значений ОСО над регионами в 2024 г., климатические нормы и средние квадратичные отклонения для каждого региона, а также отклонения значений ОСО от нормы (в %) приведены в таблице 1.2.2.2 и представлены на рис. 1.2.2.6.

Таблица 1.2.2.2. Общее содержание озона в различных регионах России в 2024 г., норма** и отклонения от нормы (%)

Месяцы / Регионы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Общее содержание озона в 2024 г., е.Д.*													
Сев. ЕЧР	337	344	417	415	402	402	329	308	284	287	321	313	347
Юг ЕЧР	363	379	401	360	397	349	334	325	293	293	311	326	344
ЗС	349	372	435	414	409	368	342	335	300	297	308	329	355
ВС	411	424	480	447	409	374	330	314	314	328	316	348	375
ДВ	455	478	473	421	413	398	347	311	320	323	363	416	393
Отклонения ОСО в 2024 г. от нормы, %													
Сев. ЕЧР	2	-6	8,4	7,6	7,2	15,2	1,5	-0,6	-3,0	2,6	17,0	6,6	4,9
Юг ЕЧР	5,0	2,5	6,8	-2,6	11,5	2,8	2,3	4,2	-2,4	1,4	5,5	4,4	3,4
ЗС	-2,0	-2,6	14	10,1	10,4	5,9	3,5	5,8	-1,2	2,1	4,6	2,5	4,5
ВС	7	3	18	9,0	4,8	7,5	2,7	1,5	2,3	7,2	-0,8	-0,4	5,2
ДВ	6	8	7	-1	6	10,6	5,5	0,1	3,1	-1,2	1,2	3,8	4,1
Норма, е.Д. и среднеквадратические отклонения, %													
Север ЕЧР	330 31,7	365 34,6	385 31,8	386 23,7	375 13,0	349 11,0	324 9,9	310 9,5	292 8,1	280 9,3	274 16,6	294 19,5	330 9,8
Юг ЕЧР	346 15,8	369 19,7	375 21,0	370 20,5	356 13,2	340 12,5	327 11,1	312 10,5	301 10,1	289 9,9	294 9,8	312 15,9	333 8,7
ЗС	356 18,6	382 25,8	380 22,7	376 26,7	371 17,9	348 13,1	330 9,7	317 9,6	304 8,6	290 9,2	295 11,9	321 24,0	339 10,1
ВС	386 22,2	410 34,1	407 29,9	410 29,6	390 16,5	348 10,5	321 7,6	310 8,6	307 10,8	306 11,8	319 23,1	349 32,4	355 11,7
ДВ	429 16,6	443 20,2	442 22,3	423 16,3	391 12,8	360 9,7	329 9,4	310 7,8	310 9,8	327 10,4	359 14,6	401 21,1	377 8,2

Примечание: * 1 е.Д. = 0,001 атм.-см;

**норма - средние многолетние значения и средние квадратичные отклонения (нижняя строка) за 1991–2020 гг.

Над всей территорией Российской Федерации в 2024 г. средняя за год толщина озонового слоя составила 362,7 е.Д., что существенно выше новой нормы (347 е.Д.). В целом отклонения в среднемесячных значениях ОСО были выше нормы или близки к ней в течение практически всего года для всех регионов.

Наибольшие положительные среднемесячные отклонения отмечались в Восточной Сибири (+18% в марте), в Западной Сибири (+14% в марте) и на севере ЕЧР (+15,2% в июне и +17% в ноябре), а отрицательные отклонения - в феврале (-6% на севере ЕЧР).

В целом, для поля озона в течение года было характерно формирование довольно

устойчивых крупных образований с однородным ОСО.

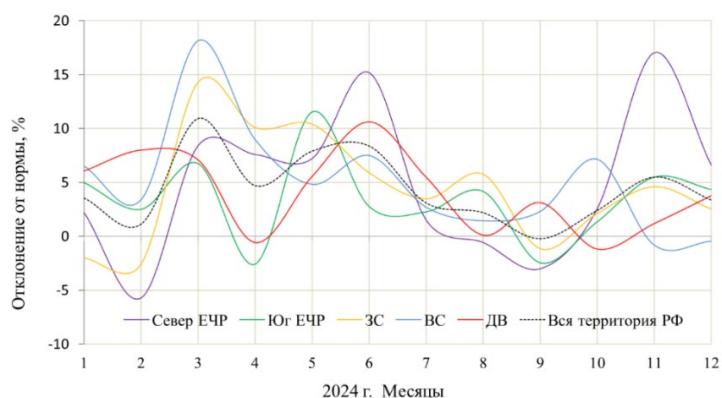


Рис. 1.2.2.6. Отклонения среднемесячных значений ОСО от норм по регионам РФ в 2024 г. (Север ЕЧР – Север Европейской части России, Юг ЕЧР – Юг Европейской части России, ЗС – Западная Сибирь, ВС – Восточная Сибирь, ДВ – Дальний Восток)

В январе продолжилось традиционное для зимы накопление озона на Дальнем Востоке. В начале месяца циркумполярный вихрь, а вместе с ним и область с пониженным содержанием озона, были расположены в полярной области со смещением на Арктическую часть РФ, преимущественно на ее западный сегмент. Практически вся территория РФ (кроме ДВ) находилась вне крупномасштабной области с высоким содержанием озона, сместившейся на Канаду и Гренландию. С середины января область высоких значений с ДВ распространилась и на Восточную Сибирь, иногда заходя на территорию Западной Сибири.

В феврале масштабная область с высокими значениями озона вновь располагалась преимущественно в западном полушарии, заходя на Дальневосточный сектор РФ. Над Севером ЕЧР и Западной Сибирью практически весь месяц находилась воздушная масса с низкими значениями ОСО.

К началу марта центр высотного арктического антициклона (образование с характерно высокими значениями ОСО) сместился в полярную область и значительно растянулся, оставив низкие значения ОСО только на Севере ЕЧР и в ЗС. К середине марта высокие значения ОСО (до 600 е.Д. в отдельные дни на некоторых арктических станциях) наблюдались практически на всей территории РФ. В такие дни превышение региональной нормы на озонметрических станциях РФ составляло до 40%.

В апреле под влиянием высотного антициклона над большей частью территории РФ находилась крупномасштабная зона с высоким содержанием озона. С середины месяца над ЕЧР и частично над западной Сибирью образовалась устойчивая зона с более низкими значениями ОСО.

В летний период поле ОСО носило традиционно сглаженный характер без контрастов и явно выраженных аномалий. Нетипичным стало высокое содержание озона (относительно ожидаемого) в июне над ЕЧР и ДВ.

В ноябре начинается традиционное накопление озона на Дальнем Востоке. Формируется циркумполярный вихрь (с низким содержанием озона). Значения ОСО близки к норме за исключением севера ЕЧР, где наблюдаются более высокие, чем обычно в данный период, значения ОСО.

В декабре на озоновый слой над западной частью РФ значительное влияние оказывал циркумполярный вихрь, расположенный над Атлантикой.

На Севере ЕЧР среднегодовой уровень ОСО в 2024 г. был существенно выше нормы (+4,9%). Наиболее значимое отрицательное отклонение наблюдалось в феврале (-6%) и это максимальное отрицательное отклонение по регионам в 2024 г. Максимальные положительные отклонения наблюдались в июне (+15,2%), что не типично, и в ноябре (+17%). Отклонения от региональных норм в ежедневных значениях по станциям были более значительны. В марте они доходили до +40%

На Юге ЕЧР среднегодовой уровень ОСО в 2024 г. был выше нормы (+3,4%). Отрицательные значения отклонений наблюдались только в апреле (-2,6%) и сентябре (-2,4%). Значимые позитивные отклонения наблюдались в марте (+6,8%), мае (+11,5%) и ноябре (+5,5%).

Над Западной Сибирью среднегодовой уровень ОСО в 2024 г. был выше нормы (+4,5 %). Отрицательное отклонение от нормы наблюдалось в январе (-2%), феврале (-2,6%) и сентябре (-1,2%), что близко к норме. В остальные месяцы отклонения были положительными. Максимальные отклонения от нормы наблюдались в марте (+14%), апреле (+10,1%) и мае (+10,4%).

Над Восточной Сибирью среднее за год содержание озона составило 375 е.Д., что значительно выше нормы (+5,2 %). Особенностью 2024 г. стало высокое содержание озона в марте (+18%). В конце года отклонение было отрицательным, но близким к норме.

На Дальнем Востоке поле ОСО в течение года также характеризовалось преимущественно положительными отклонениями. Отрицательные отклонения только в апреле и октябре, и они не значительны.

Среднее по региону за год значение ОСО составило 393 е.Д., что ощутимо выше региональной нормы (+4,1%). В конце ноября начинает формироваться область накопления озона. К концу года ситуация была близка к норме.

Поле ОСО и особенности циркуляции 2024 г.

Как правило, все аномалии, наблюдаемые в поле озона Северного полушария, связаны с характерными для рассматриваемого периода особенностями общей циркуляции в нижней стратосфере и верхней тропосфере.

Распределение ОСО над территорией РФ и его вариации в 2024 г. во многом определялись расположением высотных барических образований. Арктический антициклон оказывал

существенное влияние на поле ОСО в течение весеннего сезона, благодаря чему и были обеспечены столь высокие значения озона. Весной и в последние месяцы года играл свою роль и циркумполярный вихрь, благодаря расположению которого повторялись ситуации с возникновением резко выраженного зонального распределения ОСО, когда западная часть оказывалась под влиянием одной воздушной массы, а восточная - другой.

1.2.3. Оптическая плотность и прозрачность атмосферы

Интегральная оптическая плотность атмосферы (ОПА) и коэффициент интегральной прозрачности P_2 характеризуют степень общего замутнения атмосферы. Они связаны между собой соотношением:

$$\text{ОПА} = -0,5 \ln (S_{p,30} / S_0) = -\ln P_2,$$

в котором $S_{p,30}$ - величина измеренного потока прямой солнечной радиации в кВт/м^2 , приведенная к среднему расстоянию от Земли до Солнца и оптической массе атмосферы $m = 2$; S_0 - величина потока радиации на верхней границе атмосферы, P_2 – коэффициент интегральной прозрачности атмосферы при $m = 2$.

Параметр ОПА представляет собой оптическую плотность атмосферы для прямой солнечной радиации в диапазоне длин волн $\Delta\lambda = 0,3 - 4$ мкм при оптической массе $m = 2$ (т.е. при высоте солнца 30°).

В указанном диапазоне λ вариации ОПА определяются, главным образом, содержанием в атмосфере аэрозоля и водяного пара. Именно поэтому можно считать, что ОПА косвенно характеризует изменение аэрозольной составляющей и является показателем как общего оптического замутнения атмосферы, так и косвенной характеристикой аэрозольного ослабления радиации в атмосфере.

Список станций, районы их расположения и координаты указаны в таблице 1.2.3.1. В паре с тремя собственно региональными фоновыми станциями в трех близлежащих городах по аналогичной программе работают городские станции с целью установления разницы в уровне замутнения атмосферы.

В таблице 1.2.3.2 представлена информация о среднем уровне оптического замутнения атмосферы за 2024 г. и 2023 г. для региональных станций фонового мониторинга и трех парных им городских станций.

Следует отметить, что в 2024 г. по сравнению с предыдущим годом на большинстве региональных фоновых станций степень оптического замутнения атмосферы уменьшилась. Исключение составили лишь станции Воейково и Хужир, где ОПА возросла на 3,8% и 11,5% соответственно. В 2024 г. в Воейково из наблюдательного периода был исключен ноябрь, поскольку в этом месяце было всего 3 случая наблюдений за один день и среднее значение

коэффициента прозрачности P_2 составило 0,633, что является аномально низким уровнем прозрачности. Рассчитанное значение ОПА составило 0,457, такая оптическая плотность атмосферы может наблюдаться только в условиях повышенного городского загрязнения. Поэтому эти данные в качестве характеристики среднего за месяц значения ОПА не приводятся. Осредненные значения ОПА за 2024 г. представлены на рис. 1.2.3.1.

Таблица 1.2.3.1. Районы расположения региональных станций фоновоего мониторинга, на которых проводятся наблюдения за оптической плотностью и интегральной прозрачностью атмосферы

Станция	Район расположения	Широта в град. с.ш.	Долгота в град. в.д.
Туруханск	Красноярский край, Сибирский ФО	65,8	87,9
Усть-Вымь	Республик Коми, Северо-Западный ФО	62,2	50,4
Сыктывкар*	Республика Коми, Северо-западный ФО	61,7	50,8
Воейково	Ленинградская обл., Северо-западный ФО	60,0	30,7
Памятное	Курганская обл., Уральский ФО	56,0	65,7
Курган*	Курганская обл., Уральский ФО	55,5	65,4
Хужир	Иркутская обл., о-в Ольхон (оз. Байкал), Сибирский ФО	53,2	107,3
Иркутск*	Иркутская обл., Сибирский ФО	52,2	104,3
Шаджатмаз	Карачаево-Черкесская Республика, Северокавказский ФО	43,7	42,7

* - городские станции, являющиеся парными фоновым станциям, расположенным на строку выше

Таблица 1.2.3.2. Средние за наблюдательный период значения ОПА и стандартные отклонения ($\pm\sigma$) средних месячных значений относительно среднего за год на региональных станциях фоновоего мониторинга и в парных им городах

Станция	ОПА $\pm\sigma$ 2023 г.	ОПА $\pm\sigma$ 2024 г.
Туруханск	0,267 \pm 0,055	0,238 \pm 0,029
Усть-Вымь	0,266 \pm 0,044	0,248 \pm 0,042
Сыктывкар*	0,266 \pm 0,039	0,253 \pm 0,028
Воейково	0,264 \pm 0,040	0,274 \pm 0,046
Памятное	0,265 \pm 0,056	0,258 \pm 0,036
Курган*	0,266 \pm 0,049	0,252 \pm 0,040
Хужир	0,200 \pm 0,034	0,223 \pm 0,044
Иркутск*	0,247 \pm 0,052	0,244 \pm 0,056
Шаджатмаз	0,185 \pm 0,036	0,173 \pm 0,026

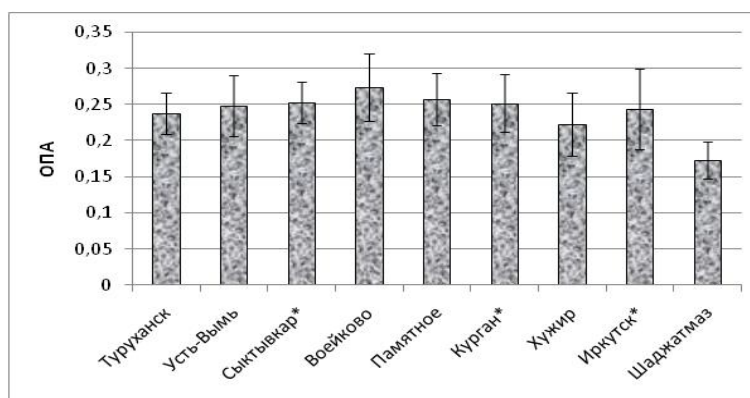


Рис. 1.2.3.1. Осредненные значения ОПА и стандартные отклонения ($\pm\sigma$) средних месячных значений относительно среднего за наблюдательный период 2024 г. на среднеширотных фоновых станциях

Как следует из рис. 1.2.3.1, в 2024 г. самой загрязненной станцией была станция Воейково, расположенная вблизи Санкт-Петербурга и испытывающая его непосредственное воздействие при ветрах западных направлений. Максимальные среднегодовые значения ОПА на станции были зарегистрированы в марте (ОПА = 0,334) и в июне (ОПА = 0,337). Второе место после Воейково по уровню замутнения атмосферы в 2024 г. заняла станция Памятное (ОПА = $0,258 \pm 0,036$), вследствие её степного расположения и засушливого лета.

Самой чистой сохранилась станция Шаджатмаз (Северный Кавказ, 2070 м над уровнем моря). Второе место по чистоте атмосферы принадлежало станции Хужир, находящейся на острове Ольхон на оз. Байкал, третье место – станции Туруханск (Красноярский край).

Общий уровень оптического замутнения атмосферы в 2024 г., за исключением станции Воейково, практически не превышал значения оптической плотности атмосферы, равной 0,250.

О специфике внутригодовых изменений ОПА дает представление рис. 1.2.3.2, на котором показаны изменения оптической плотности атмосферы на парных станциях «фон – город» (рис. 1.2.3.1 а, б, в) и трех станциях, не имеющих парной городской станции (рис. 1.2.3.2 г).

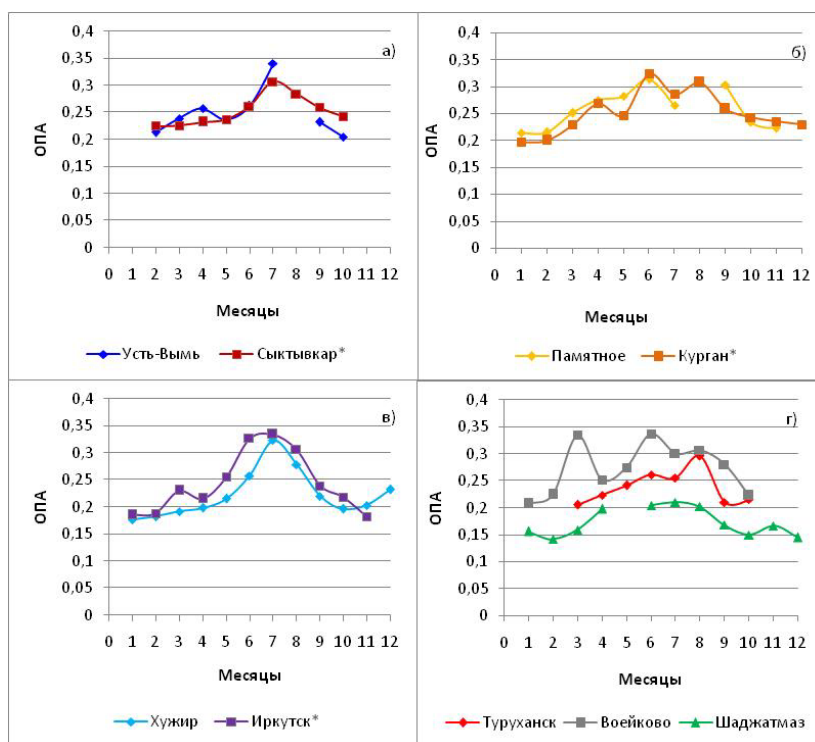


Рис. 1.2.3.2. Изменение среднемесячных значений ОПА в 2024 г.

Прерывистость кривых, иллюстрирующих изменчивость ОПА в 2024 г., связана с отсутствием условий для проведения наблюдений в отдельные месяцы. Повышение оптической плотности атмосферы и, соответственно, снижение прозрачности в летние месяцы закономерно и обусловлено усилением турбулентного обмена и открытостью подстилающей поверхности.

Как следует из рис. 1.2.3.2а и 1.2.3.2б, в 2024 г. на парах станций Усть-Вымь - Сыктывкар* и Памятное – Курган* среднемесячные значения ОПА на фоновых и соответствующих городских

станциях отличались незначительно. Это свидетельствует о том, что фоновые станции Усть-Вымь и Памятное значительную часть года находились в условиях пониженной прозрачности из-за влияния локальных источников загрязнения. В результате уровень замутнения атмосферы на них в отдельные месяцы был повышен и приближался или даже превосходил уровень замутнения на парных городских станциях. Среднегодовое значение ОПА на фоновой станции Памятное превысило на 2,4% аналогичное значение в парном городе Курган*, а среднегодовое значение ОПА на городской станции Сыктывкар* было выше по сравнению с парной фоновой станцией Усть-Вымь всего на 2%.

На парных станциях Хужир – Иркутск* большую часть года оптическое замутнение атмосферы в городе было выше, чем на фоновой станции (рис. 1.2.3.2в).

Средний уровень замутнения атмосферы на городской станции Иркутск* в 2024 г. превосходил таковой на парной фоновой станции Хужир на 9,4%.

Как следует из рис. 1.2.3.2 г наиболее чистой была северокавказская горная станция Шаджатмаз, на которой максимальное замутнение (среднемесячное значение ОПА = 0,210) отмечалось в июле, минимальное – в феврале (ОПА = 0,145).

На сибирской станции Туруханск среднемесячные значения ОПА, в основном, варьировали в интервале от 0,20 до 0,25, с максимальным значением - 0,296 в августе. Следует отметить, что станция Туруханск в последние годы часто попадает в зону влияния лесных пожаров в летний период.

22.06.2022 г. Росгидрометом было издано распоряжение №197-Р «О переходе на климатические нормы периода 1991-2020 гг.». Ранее за нормы ОПА принимались средние значения ОПА за период с 1979 по 2012 гг. Из этого периода были изъяты 1983–1984 и 1992–1993 гг., когда наиболее сильно проявлялось влияние вулканического аэрозоля после извержений вулканов Эль-Чичон (апрель 1982 г.) и Пинатубо и Хадсон (июнь и август 1991 г.). Фактический период наблюдений, по которому рассчитывались нормы, составил 30 лет.

Для сравнения значений ОПА, полученных в 2024 г., с многолетней нормой ОПА были выполнены дополнительные проработки по сопоставлению ранее используемых норм ОПА и современные нормы (рис. 1.2.3.3).

Из данных сопоставлений прежних данных средних многолетних значений ОПА с данными по новым нормам за 1991-2020 гг. следует, что прежние и современные данные достаточно близки (рис. 1.2.3.3а). Более значительные различия проявились в стандартных отклонениях (рис. 1.2.3.3б). В данном Обзоре используются требуемые Росгидрометом 30-летние нормы за 1991-2020 гг. без вычетов.

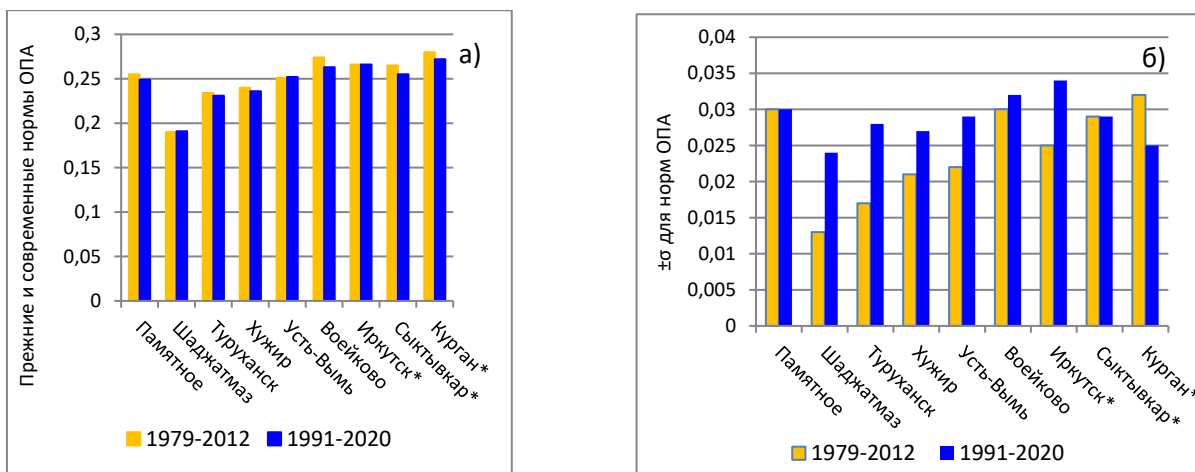


Рис. 1.2.3.3. Сопоставление прежних (1972-2012 гг.) и современных норм (1991-2020 гг.) (а), а также их стандартных отклонений ($\pm\sigma$) (б)

Изменения оптической плотности атмосферы в 2024 г. относительно 30-летней утвержденной Росгидрометом нормы показаны на рис. 1.2.3.4.

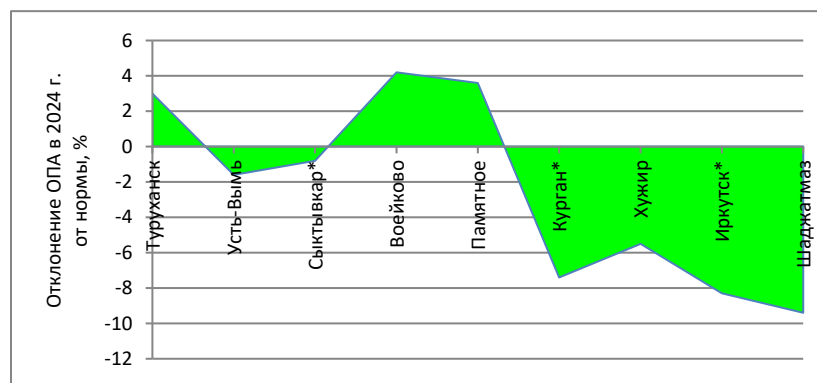


Рис. 1.2.3.4. Отклонения среднегодовых значений оптической плотности атмосферы в 2024 г. от 30-летней нормы за 1991-2020 гг.

Как видно из рис. 1.2.3.4 в 2024 г. ОПА превышала 30-летнюю норму лишь на трёх станциях – Туруханск, Воейково, Памятное. На всех остальных станциях ОПА была ниже нормы, причем максимальное снижение наблюдалось на фоновых станциях Шаджатмаз (-9,4%) и Хужир (-5,5), а также на городских станциях Курган* (-7,4) и Иркутск* (-8,3).

Межгодовую изменчивость ОПА за 1972-2024 гг. иллюстрирует рис. 1.2.3.5.

На рис. 1.2.3.5 приведены выраженные в процентах нормированные аномалии ОПА, рассчитанные относительно новых норм ОПА за 1991-2020 гг.

Время с начала 1970-х до середины 1990-х гг. можно считать временем положительных аномалий ОПА, связанных с серией мощных вулканических извержений – Фуэго (1974), Эль-Чичон (1982) и Пинатубо и Хадсон (1991). После извержений вулканов Пинатубо и Хадсон (июнь и август 1991 г.), значения положительных нормированных аномалий ОПА достигали 50%.

В середине 1990-х гг. произошло самоочищение атмосферы. Оптическая плотность атмосферы уменьшилась, прозрачность возросла. Постепенно совершился переход

нормированных аномалий ОПА в область отрицательных значений. Этому способствовало сокращение промышленной активности в постперестроечные годы.

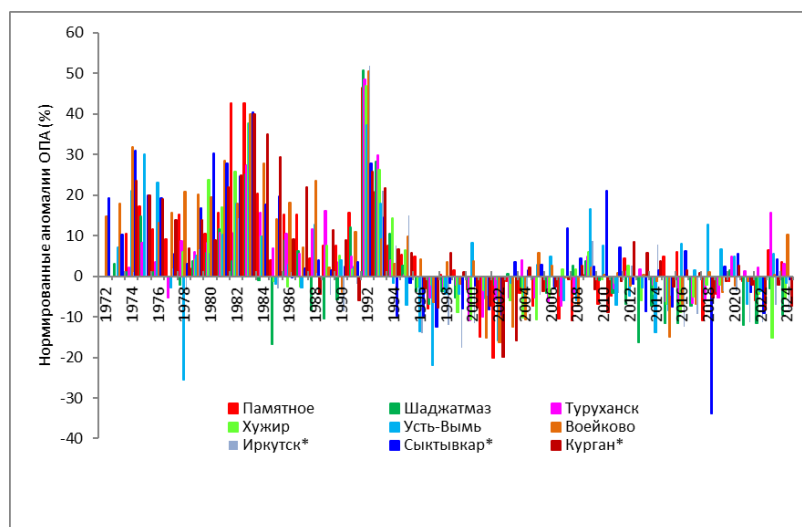


Рис. 1.2.3.5. Нормированные аномалии ОПА (%) за 1972-2024 гг.

Со второй половины 1-ой декады XXI-ого века и по настоящее время оптическое замутнение атмосферы находится в достаточно стабильном состоянии. Нормированные аномалии ОПА варьируют относительно нормы в зависимости от условий загрязнения атмосферы в районе станций, но в основном преобладают отрицательные значения, достигающие на некоторых станциях в отдельные годы -20% (Усть-Вымь в 1978, 1997). Самая большая отрицательная нормированная аномалия была зарегистрирована в Сыктывкаре в 2018 г. (рис. 2.9), что было связано с условиями аномально низкого оптического замутнения, сохранявшимися на этой станции в течение пяти месяцев.

Периодически отмечались положительные нормированные аномалии. Наиболее заметные были зафиксированы на станции Усть-Вымь (Республика Коми) в 2009 г. (17%) и на парной ей городской станции Сыктывкар* (21%) в 2010 г., что совпало по времени с извержением вулкана Эйяфьядлайёкюдль в Исландии.

1.2.4. Электрические характеристики приземного слоя атмосферы

Рассмотрены данные совместных измерений градиента потенциала электрического поля атмосферы V' и удельных полярных электрических проводимостей воздуха L^+ и L^- , выполненных на станциях Воейково (В), ОГМС Иркутск (И), ОГМС Верхнее Дуброво (ВД) (Свердловская область) и Южно-Сахалинск (ЮС) (Сахалинская область). Общая продолжительность измерений в Воейково составила 75 лет, в Иркутске – 65 лет, в Верхнем Дуброво – 67 лет, в Южно-Сахалинске – 56 лет. Датчики измерителей V' , L^+ и L^- установлены в пределах одного - двух метров от земли.

Обобщенные по сезонам результаты измерений V'_c и L_s за 2019–2024 гг. приведены в таблицах 1.2.4.1 и 1.2.4.2. В скобках указаны минимальные и максимальные среднемесячные значения измеряемых величин за сезон и год.

Таблица 1.2.4.1. Сезонные (V'_c), среднегодовые ($V'_г$) и среднемесячные минимальные и максимальные (в скобках) значения V' (даВ/м) за 2019–2024 гг. на станциях Воейково (В), Иркутск (И) и Южно-Сахалинск (ЮС)

Станция	Год	$V'_c, (V')$				$V'_г, (V')$
		Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
В	2024	10 (9, 11)	7 (6, 9)	8 (7, 8)	8 (7, 10)	8 (6, 11)
	2023	8 (6, 9)	7 (5, 8)	8 (7, 8)	8 (8, 9)	8 (5, 9)
	2022	10 (7, 13)	8 (10, 6)	6 (5, 7)	7 (5, 8)	8 (5, 13)
	2021	11 (10, 11)	10 (9, 11)	9 (7, 12)	11 (10, 11)	10 (7, 12)
	2020	9 (7, 11)	10 (7, 12)	7 (6, 8)	9 (8, 10)	9 (6, 12)
	2019	10 (9, 12)	12 (11, 13)	11 (10, 12)	12 (12, 13)	11 (9, 13)
И	2024	12 (12, 13)	10 (6, 12)	5 (5, 6)	9 (6, 11)	9 (5, 13)
	2023	12 (10, 14)	9 (6, 12)	6 (4, 7)	7 (6, 9)	8 (5, 14)
	2022	10 (9, 12)	9 (6, 11)	6 (5, 7)	8 (5, 11)	8 (5, 12)
	2021	13 (13, 14)	12 (7, 14)	5 (4, 7)	9 (7, 12)	10 (4, 14)
	2020	10 (10, 11)	7 (5, 10)	6 (5, 8)	7 (5, 8)	7 (5, 11)
	2019	8 Н	8 Н	6 (5, 6)	9 (6, 13)	8 (5, 13)
ЮС	2024	29 (26, 33)	20 (13, 29)	10 (8, 12)	17 (12, 22)	19 (8, 29)
	2023	32 (30, 35)	17 (14, 21)	14 (11, 19)	18 (15, 20)	20 (11, 35)
	2018	34 (29, 38)	13 (6, 25)	6 (5, 7)	-	18 (5, 38) Т
	2017	30 (27, 34)	14 (7, 21)	7 (5, 10)	19 (14, 22)	18 (5, 34)
	2016	31 (27, 33)	20 (11, 29)	11 (9, 12)	17 (14, 21)	21 (9, 33)
	2015	38 (34, 42)	17 (9, 24)	9 (7, 10)	12 (9, 15)	19 (7, 42)

Примечание к таблицам 2.8 и 2.9: Средние за сезон значения, полученные по данным за 2 месяца, отмечены буквой «Н» (неполные), средние значения за год, вычисленные по данным трех сезонов, отмечены символом «Т».

Как видно из табл. 1.2.4.1 в 2024 г. по сравнению с 2023 г. на станциях Воейково и Иркутск значения градиента потенциала электрического поля V' практически не изменились. Однако прослеживается незначительное превышение V' на станции Воейково в зимний период, а на станции Иркутск в осенний период. Кроме того, на станции Воейково можно отметить некоторое уменьшение значений V' с 2022 по 2024 гг. в весенний и осенний периоды относительно предшествующих трех лет. Возможно, это связано с изменением количества и продолжительности метеорологических явлений, характерных для весенне-осеннего периода, что требует более углубленного анализа.

В Южно-Сахалинске в 2024 г. значения градиента потенциала электрического поля V' находятся в пределах стандартного отклонения. Стоит отметить незначительное увеличение значений в весенний период.

Значения суммарной электрической проводимости L_s в 2024 г. по сравнению с 2023 г. на станциях Воейково и Иркутске практически не изменились, а на станции Верхнее Дуброво также не отмечается, однако прослеживается повышение L_s в последние два года относительно предшествующего четырехлетнего периода, что проявляется почти во все сезоны. На станции Иркутск имеет место значительное повышение значений L_s в осенний период (табл. 1.2.4.2).

Таблица 1.2.4.2. Сезонные (L_c), среднегодовые (L_r) и среднемесячные минимальные и максимальные (в скобках) значения L_s (фСм/м) за 2019–2024 гг. на станциях Воейково (В), Иркутск (И) и Верхнее Дуброво (ВД)

Станция	Год	$L_c, (L_s)$				$L_r, (L_s)$
		Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
В	2024	17 (16, 18)	20 (18, 22)	19 (17, 20)	19 (18, 20)	19 (16, 22)
	2023	18 (17, 19)	18 (17, 19)	20 (19, 20)	21 (18, 23)	19 (17, 23)
	2022	14 (13, 16)	23 (18, 27)	21 (19, 22)	24 (23, 26)	21 (13, 27)
	2021	14(12, 16)	15(14, 16)	21(17, 25)	21(18, 24)	18(12, 25)
	2020	19 (19, 20)	21 (17, 24)	19 (17, 22)	20 (19, 21)	20 (17, 24)
	2019	15 (11, 16)	18 (15, 21)	19 (18, 20)	18 (17, 20)	18 (11, 21)
И	2024	21 (19, 22)	23 (21, 25)	25 (22, 26)	31 (30, 33)	25 (19, 34)
	2023	22 (20, 23)	23 (23, 23)	25(20, 28)	24 (21, 26)	24 (20, 28)
	2022	22 (21, 23)	22 (21, 23)	26 (23, 28)	30 (28, 32)	25 (21, 32)
	2021	17(16, 18)	23(20, 24)	22(21, 24)	27(26, 27)	22(16, 27)
	2020	22 (19, 25)	28 (22, 32)	28 (27, 30)	27 (23, 30) Н	26 (19, 32)
	2019	21 (18, 24)	23 (22, 25)	22 (20, 23)	28 (26, 33)	24 (18, 33)
ВД	2024	16 (13, 18)	16 (15, 17)	17 (16, 19)	18 (16, 20)	17 (13, 20)
	2023	17 (16, 17)	16 (13, 18)	16 (14, 17)	20 (20, 20)	17 (13, 20)
	2022	12 (11, 13)	10 (9, 11)	16 Н	19 (16, 21)	14 (9, 21)
	2021	14(12, 16)	13(12, 14)	14(11, 15)	14(13, 14)	14(11, 16)
	2020	16 (15, 19)	14 (13, 16)	15 (14, 16)	17 (14, 19)	16 (13, 19)
	2019	12 (11, 13)	15 (13, 17)	16 (13, 19)	17 (16, 20)	15 (11, 20)

На рис. 1.2.4.1 представлен годовой ход V' по станциям Воейково, Иркутск и Южно-Сахалинск (а) и годовой ход L_s по станциям Воейково, Иркутск и Верхнее Дуброво (б) в 2024 г. в сравнении с осредненным годовым ходом за период 2019–2023 гг.

Как следует из рис. 1.2.4.1, в 2024 г. на станции Воейково наблюдается небольшое понижение среднемесячных значений V' в марте-апреле по сравнению с осредненными значениями V' за предшествующий период, и этот же период наблюдается увеличение значений L_s , что соответствует физическим представлениям о взаимосвязи между данными параметрами. При этом, данные результаты наблюдений находятся в пределах $\pm\sigma$.

На станции Иркутск годовой ход V' близок к осредненному годовому ходу этого параметра за предыдущие годы с небольшим увеличением в начале года, а L_s с незначительным увеличением в конце года. При этом оба измеряемых параметра находятся в границах стандартного отклонения.

В Южно-Сахалинске годовой ход V' близок к осредненному годовому ходу этого параметра за предыдущие годы. В Верхнем Дуброво годовой ход L_s также близок к осредненному годовому ходу за предыдущие годы.

На рис. 1.2.4.2 представлен суточный ход V' и L_s за 2024 г. в сравнении с осредненным суточным ходом за период 2019–2023 гг. на анализируемых станциях. Цветом выделена область стандартного отклонения для предшествующего пятилетнего периода. Шкала абсцисс указана во всемирном скоординированном времени (BCB).

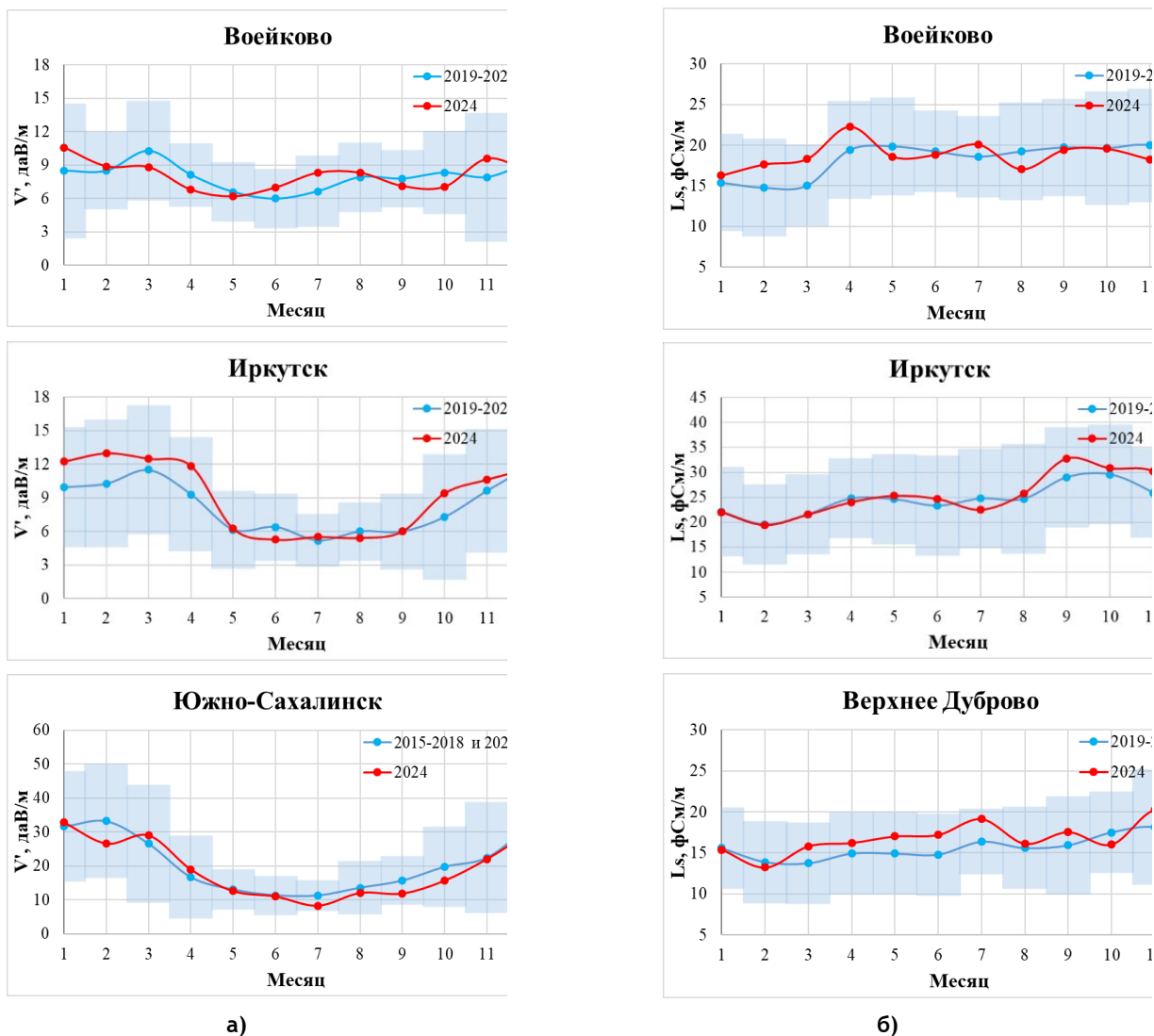


Рис. 1.2.4.1. Годовой ход V' по станциям Воейково, Иркутск и Южно-Сахалинск в 2024 г. (а), и годовой ход L_s по станциям Воейково, Иркутск и Верхнее Дуброво в 2024 г. (б) на фоне осредненных годовых ходов за период 2019–2023 гг. Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2019–2023 гг.

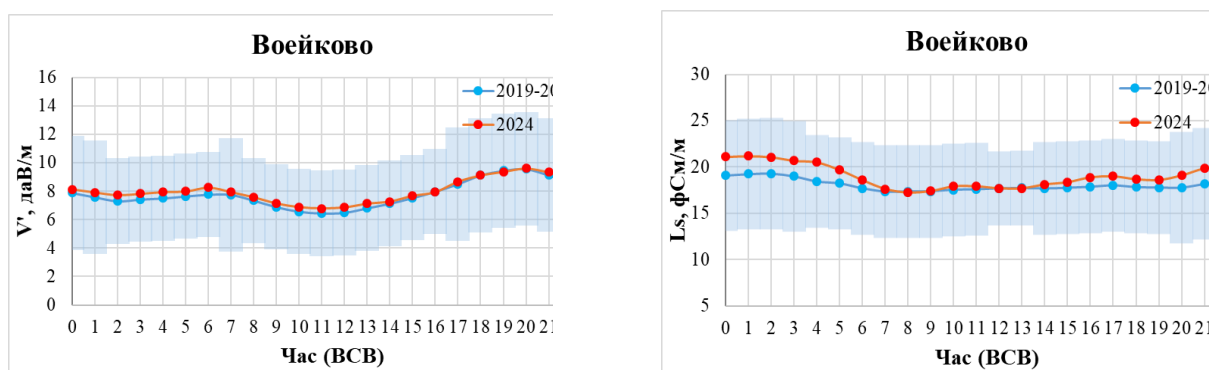


Рис. 1.2.4.2 (начало). Суточный ход V' (а) и L_s (б) на различных станциях за 2024 г. в сравнении с осредненным ходом за период 2019–2023 гг. Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2019–2023 гг.

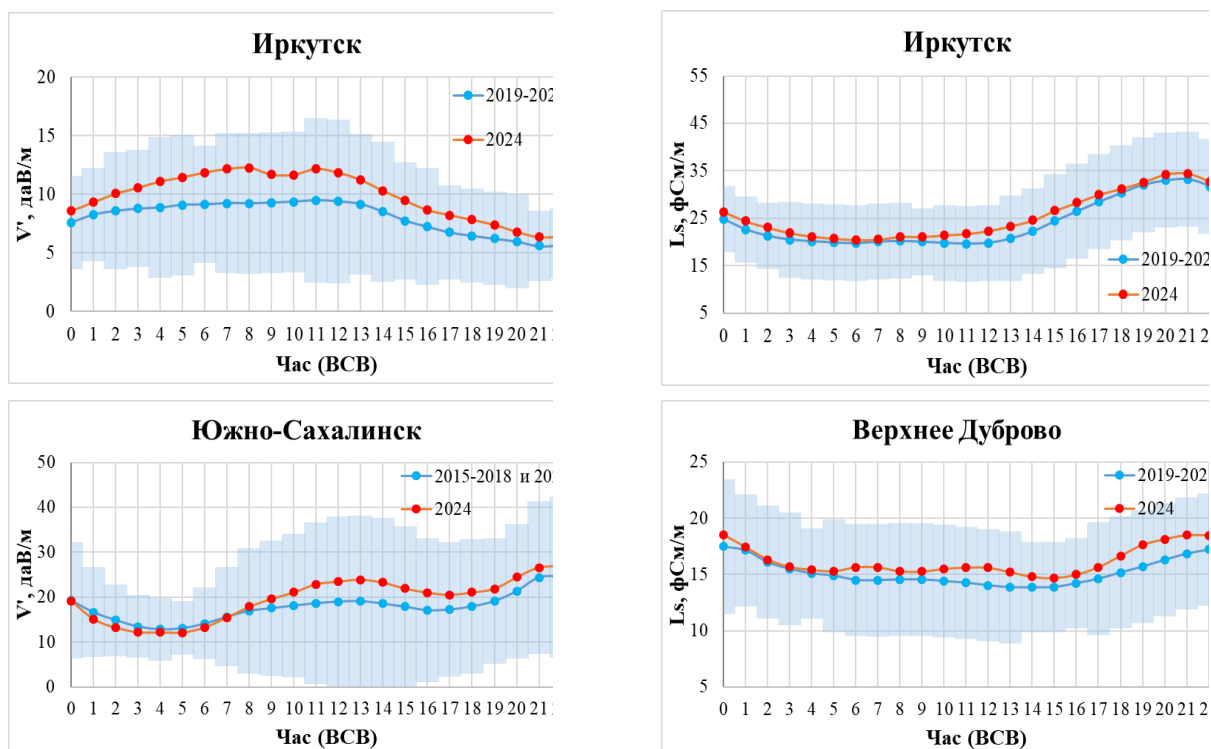


Рис. 1.2.4.2 (окончание). Суточный ход V' (а) и L_s (б) на различных станциях за 2024 г. в сравнении с осредненным ходом за период 2019–2023 гг. Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2019–2023 гг.

Из графиков на рис. 1.2.4.2 видно, что в 2024 г. по сравнению с предшествующим периодом почти на всех станциях суточный ход V' и L_s не претерпевал значительных изменений. Тем не менее, можно отметить незначительное превышение V' по сравнению с предшествующим пятилетним периодом на станции Иркутск в первую половину суток, а на станции Южно-Сахалинск – в утренние и дневные часы. Обращает на себя внимание и тот факт, что характер суточного хода V' для каждой станции свой и общей закономерности изменений V' не прослеживается.

1.3. Химический состав атмосферных осадков

1.3.1. Загрязняющие вещества в атмосферных осадках

В 2024 г. средневзвешенные годовые фоновые концентрации **свинца** в атмосферных осадках составили: на территории Приокско-Террасного БЗ – около 2,9 мкг/л, Астраханского БЗ – около 0,5 мкг/л, Воронежского БЗ – около 0,35 мкг/л, Алтайский БЗ – около 1,0 мкг/л. Средневзвешенная годовая фоновая концентрация свинца в атмосферных осадках на территории всех заповедников в рассматриваемый период была на том же уровне или ниже, чем в 2023 г. (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

Таблица 1.3.1.1. Уровни содержания загрязняющих веществ в атмосферных осадках по результатам наблюдений СКФМ и среднегодовые концентрации за 2024 г.

Заповедник	Период наблюдения	Pb, мкг/л		Cd, мкг/л		Hg, мкг/л	
		Диапазон	2024 г.	Диапазон	2024 г.	Диапазон	2024 г.
Приокско-Террасный БЗ	1983-2024	0,2 - 696,0	2,90	0,009 – 20,0	0,15	0,01 - 80,0	0,12
Астраханский БЗ	1987-2024	0,05 – 91,0	0,45			0,02 – 376,0	0,35
Воронежский БЗ	1989-2024	0,18 - 44,2	0,34	0,025 – 19,0	0,03	0,001 – 311,0	0,34
Алтайский БЗ (Яйлю)	1998-2024	0,25 – 48,0	0,98	0,011 – 12,5	0,10	0,001 – 0,97	0,11

Максимальные среднемесячные концентрации свинца в осадках на территории фоновых районов в исследуемый период были отмечены в Приокско-Террасном БЗ в июне (около 7,5 мкг/л). На всех станциях наблюдений большинство средневзвешенных месячных концентраций не превышали 2 мкг/л (за исключением Приокско-Террасного БЗ). Сезонный ход по всем станциям ЕЧР не выражен, однако в апреле на всех станциях ЕЧР был зафиксирован скачок содержания свинца. В Приокско-Террасном БЗ наблюдался выраженный сезонный ход с повышением в теплый период.

На территории Приокско-Террасного БЗ влажные выпадения свинца в 2024 г. составили около 1,8 мг/м², на территории Астраханского БЗ - около 0,066 мг/м², на территории Воронежского заповедника – около 0,14 мг/м², Алтайского заповедника – около 1,0 мг/м².

Наиболее высокое среднее содержание и годовые влажные выпадения свинца были зафиксированы на станции в Приокско-Террасном БЗ, который находится в Московской области, что может и являться причиной повышенных значений содержания свинца.

В 2024 г. средневзвешенные годовые фоновые концентрации **кадмия** в атмосферных осадках составили: на территории Приокско-Террасного БЗ – около 0,15 мкг/л, Воронежского БЗ – 0,03 мкг/л, Алтайского БЗ – 0,10 мкг/л. Средневзвешенные годовые фоновые концентрации кадмия в атмосферных осадках на территории перечисленных заповедников в рассматриваемый

период соответствовали уровню 2023 г., за исключением Приокско-Террасного БЗ (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

Максимальные среднемесячные концентрации кадмия в осадках на территории фоновых районов ЕЧР в исследуемый период были отмечены в Приокско-Террасном БЗ в январе (около 1 мкг/л) и повышенные в Алтайском БЗ в мае (0,2 мкг/л) и сентябре в Приокско-Террасном БЗ (0,2 мкг/л). На всех станциях наблюдений большинство средневзвешенных месячных концентраций не превышали 0,15 мкг/л. Сезонный ход по всем станциям не выражен.

На территории Приокско-Террасного БЗ влажные выпадения кадмия в 2024 г. составили около 0,088 мг/м², на территории Воронежского БЗ – около 0,014 мг/м², Алтайского БЗ – около 0,094 мг/м².

В 2024 г. средневзвешенные годовые фоновые концентрации **ртути** в атмосферных осадках составили: на территории Приокско-Террасного БЗ – около 0,12 мкг/л, Астраханского БЗ – около 0,35 мкг/л, Воронежского БЗ – около 0,34 мкг/л, Алтайского БЗ – 0,11 мкг/л. Среднегодовые концентрации ртути в атмосферных осадках на территории всех заповедников в рассматриваемый период соответствовали уровню предыдущего года или немного ниже (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

Максимальные среднемесячные концентрации ртути в осадках на территории фоновых районов ЕЧР в исследуемый период были отмечены в Астраханском БЗ (с апреля по июнь, с максимальным содержанием в апреле) и Воронежском БЗ (с апреля по июнь, с максимальным содержанием в мае). На станциях наблюдений в Астраханском БЗ и Воронежском БЗ большинство средневзвешенных месячных концентраций не превышали 0,5 мкг/л, а на станциях в Приокско-Террасного БЗ и Алтайского БЗ – 0,2 мкг/л. На всех станциях наблюдений концентрации ртути не имеют ярко выраженного сезонного хода, хотя в некоторых случаях выше в теплый период, чем в холодный.

На территории Приокско-Террасного БЗ влажные выпадения ртути в 2024 г. составили около 0,075 мг/м², на территории Астраханского БЗ - около 0,05 мг/м², на территории Воронежского БЗ – около 0,14 мг/м², Алтайского БЗ – около 0,11 мг/м².

В 2024 г. средневзвешенные годовые фоновые концентрации **меди** в атмосферных осадках составили: на территории Приокско-Террасного БЗ – около 3 мкг/л, Астраханского БЗ – около 5,5 мкг/л, Воронежского БЗ – 4,0 мкг/л, Алтайского БЗ – 4,2 мкг/л. Среднегодовые концентрации меди в атмосферных осадках на территории Астраханского БЗ и Алтайского БЗ были выше, чем в предыдущий рассматриваемый период (рис. 1.3.1.1).

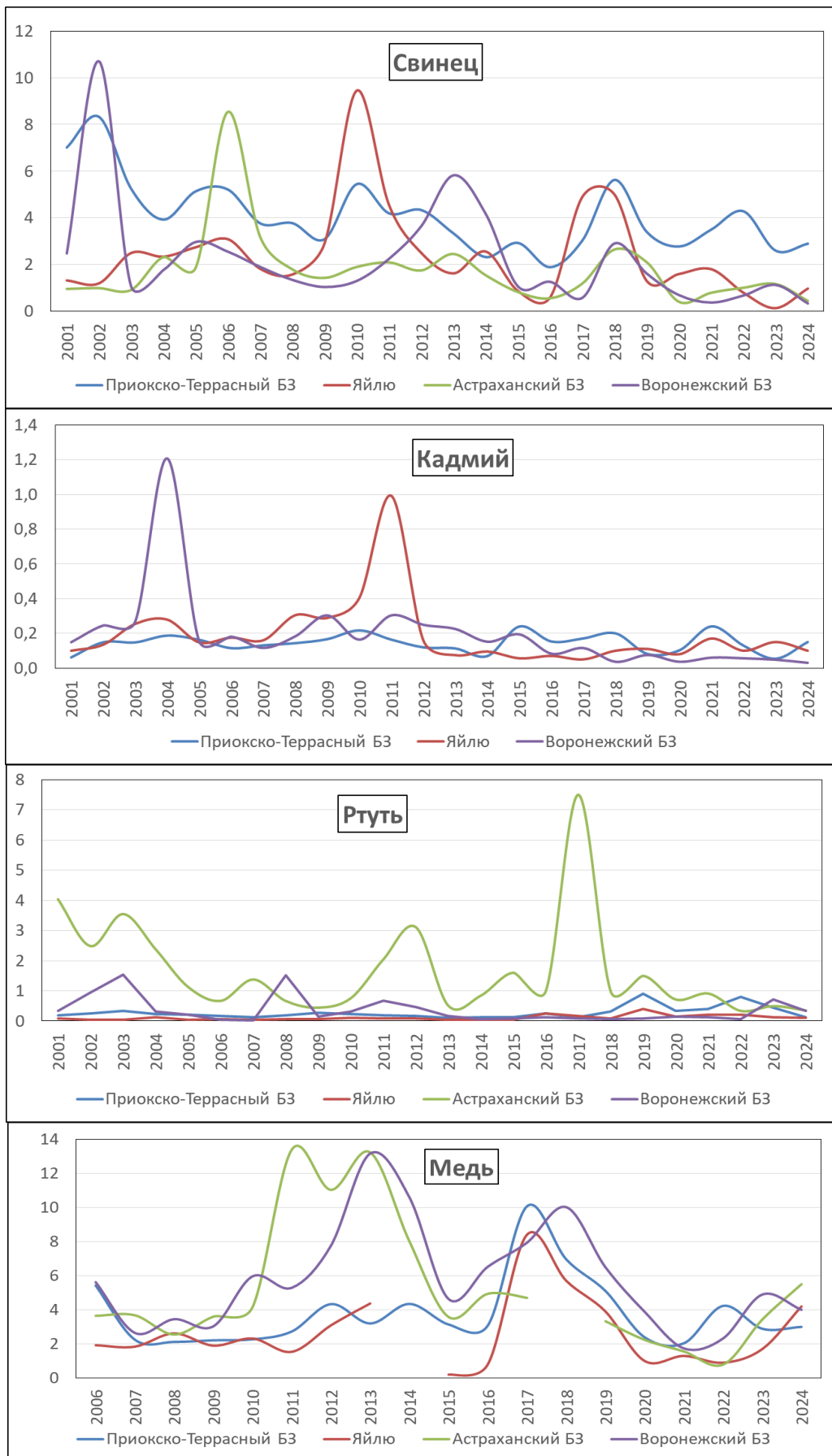


Рис. 1.3.1.1. Изменение среднего содержания тяжелых металлов (мкг/л) в атмосферных осадках на станциях комплексного фоновый мониторинга в 2001-2024 гг.

Максимальные среднемесячные концентрации меди в осадках на территории фоновых районов ЕЧР в исследуемый период были отмечены на территории Приокско-Тerrasного БЗ в сентябре (около 10 мкг/л), Астраханского БЗ в феврале (около 28 мкг/л), Воронежского БЗ в марте (около 20 мкг/л). Содержание меди на территории всех станций наблюдений варьировали, в основном, в диапазоне от 1 до 10 мкг/л меди. Сезонный ход по всем станциям не выражен. Содержание меди, в целом в разные месяцы на всех станциях находится на одном уровне, за исключением редких повышенных значений, которые могут быть вызваны поступлением воздушных масс с территорий, на которых присутствуют крупные источники загрязнения медью (например, добыча полезных ископаемых).

На территории Приокско-Тerrasного БЗ влажные выпадения меди в 2024 г. составили около 1,8 мг/м², на территории Астраханского БЗ - около 0,8 мг/м², на территории Воронежского БЗ – около 1,6 мг/м², Алтайского БЗ – около 4,0 мг/м². Выпадения меди в 2024 г. на станциях в Алтайском и Воронежском БЗ значительно отличались от значений предыдущего года.

На всех станциях фонового мониторинга выпадения тяжелых металлов с осадками не достигают уровней, представляющих угрозу экосистемам.

1.3.2. Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков

В систему Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО входят 10 станций, распределенных по двум зонам: Европейская часть России (ЕЧР) - Усть-Вымь, Приокско-Террасный биосферный заповедник (БЗ), Воронежский БЗ, Шаджатмаз.

Азиатская часть России (АЧР) – Туруханск, Хужир, Памятная, Тикси, Сихоте–Алинский БЗ. В соответствии с рекомендациями ВМО на большинстве станций отбирались недельные пробы осадков, на станциях Хужир и Тикси – месячные пробы.

Во всех отобранных пробах анализируется содержание основных ионов – гидрокарбонатов (HCO_3^-), хлоридов (Cl^-), сульфатов (SO_4^{2-}), нитратов (NO_3^-), ионов аммония (NH_4^+), калия (K^+), натрия (Na^+), магния (Mg^{2+}), кальция (Ca^{2+}), а также определяются показатели удельной электропроводности (проводимости) k и pH в соответствии с рекомендациями ГСА ВМО. Сумма основных ионов характеризует минерализацию осадков (M).

Основные характеристики химического состава осадков фоновых станций в 2024 г., а также за период 2020-2024 гг. представлены в табл. 1.3.2.1 и 1.3.2.2.

Таблица 1.3.2.1. Средневзвешенные концентрации ионов и величины pH и удельной электропроводности (k) в осадках на станциях фонового мониторинга, 2024 г.

Станция	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	HCO_3^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	M	pH	k , мкС м/см
	мг/л											
ЕЧР												
Усть-Вымь	1,35	0,50	0,84	3,01	0,42	0,37	0,27	1,06	0,10	7,9	6,04	14,8
Приокско-Террасный БЗ	0,74	0,43	0,73	0,38	0,20	0,16	0,12	0,34	0,06	3,2	5,45	9,9
Воронежский БЗ	1,59	0,96	1,11	2,62	0,37	0,57	0,59	0,97	0,12	8,9	5,73	24,4
Шаджатмаз	1,32	0,93	1,58	3,71	0,83	0,65	0,51	1,28	0,83	11,6	6,25	20,5
АЧР												
Памятное	1,51	0,86	1,41	1,60	0,46	0,44	0,50	0,55	0,17	7,5	5,93	19,5
Туруханск	2,44	1,25	0,53	6,17	0,24	0,79	0,41	1,89	0,53	14,2	6,12	29,0
Хужир	1,12	0,72	1,01	0,62	0,10	0,15	0,13	0,70	0,22	4,8	5,92	18,6
Тикси	2,41	1,61	0,30	7,95	0,77	2,32	1,08	0,45	0,24	17,1	5,93	23,8
Сихоте-Алинский БЗ	2,10	1,65	0,26	1,25	0,62	0,96	0,81	0,30	0,07	8,1	5,62	14,0

В 2024 г. средневзвешенные значения минерализации осадков фоновых станций в целом по Российской Федерации варьировали в пределах от 3,2 мг/л в Приокско-Террасном БЗ до 17,1 мг/л в Тикси. В целом, как и ранее, минерализация осадков была выше на АЧР, по сравнению с ЕЧР.

Минерализация осадков на ЕЧР в 2024 г. по сравнению с 2023 г. не изменилась в атмосферных осадках станций Приокско-Террасный и Воронежский БЗ и увеличилась в осадках станций Усть – Вымь и Шаджатмаз на 35,5 и 10 % соответственно.

На АЧР минерализация в 2024 г. снизилась в атмосферных осадках Памятное и Тикси на 59 и 68 % соответственно, а в Туруханске наоборот увеличилась практически в 2 раза.

В ионном балансе атмосферных осадков большинства станций преобладают: из анионов – гидрокарбонаты или сульфаты, из катионов – кальций или натрий. Для Приокско-Террасного БЗ характерно преобладание сульфатов и нитратов, для Усть-Выми и Шаджатмаза – гидрокарбонатов. В морском климате (Тикси) в ионном балансе осадков преобладают хлориды и натрий.

Таблица 1.3.2.2. Средневзвешенные концентрации ионов и величины рН и удельной электропроводности (к) осадков станций фонового мониторинга, 2020–2024 гг.

Станция	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	M	рН.	к,
	мг/л											мкСм/см
ЕЧР												
Усть-Выми	1,23	0,55	0,89	2,71	0,48	0,72	0,28	0,76	0,09	7,74	6,02	14,52
Приокско-Террасный БЗ	0,94	0,48	0,98	0,36	0,24	0,19	0,14	0,44	0,08	3,87	5,46	10,38
Воронежский БЗ	1,97	1,08	1,56	2,23	0,52	0,67	0,53	0,98	0,13	9,70	5,73	21,48
Шаджатмаз	1,97	0,81	1,45	4,55	0,74	0,71	0,39	1,50	0,34	12,49	6,30	21,47
АЧР												
Памятное	2,03	1,19	1,52	2,65	0,69	0,76	0,66	0,83	0,20	10,57	6,02	26,15
Туруханск	2,44	1,25	0,53	6,17	0,24	0,79	0,41	1,89	0,53	14,24	6,12	29
Хужир	1,12	0,72	1,01	0,62	0,10	0,15	0,13	0,70	0,22	4,77	5,92	18,6
Сихотэ-Алинский БЗ (Терней)	1,84	1,15	0,63	0,52	0,40	0,61	0,39	0,40	0,10	6,06	5,44	16,50
Тикси	2,88	5,55	0,28	3,85	0,42	3,56	0,66	0,57	0,40	19,39	6,67	29,43

В 2024 г. концентрация гидрокарбонатов в осадках Шаджатмаза снизилась еще на 5%. Минимальное содержание гидрокарбонатов по-прежнему характерно для осадков Приокско-Террасного БЗ. В целом за период 2020–2024 гг. на станциях ЕЧР содержание гидрокарбонатов в осадках находилось в интервале 0,27 – 4,24 мг/л (рис. 1.3.2.1 а).

На АЧР высокое содержание гидрокарбонатов в атмосферных осадках характерно для Тикси, Туруханска и Памятного, и в 2024 г. диапазон колебания составил 0,62 – 7,95 мг/л (рис. 1.3.2.1 б).

Пространственная неоднородность или пространственная физико-географическая дифференциация, сульфатов проявляется повышенным их содержанием в осадках АЧР по сравнению с осадками ЕЧР. В 2024 г. диапазон концентрации сульфатов в осадках ЕЧР изменялся от 0,78 мг/л (Приокско-Террасный БЗ) до 1,90 мг/л (Воронежский БЗ), составив в среднем 1,46 мг/л. На АЧР минимальное содержание сульфатов по-прежнему наблюдалось в осадках Хужира (1,07 мг/л), максимальное – в осадках Тикси (2,88 мг/л), а среднее значение составило 1,46 мг/л.

В 2024 г. на ЕЧР на 19,3 % в сравнении со средним значением за 2020 – 2024 г увеличилась концентрация сульфатов в осадках Усть-Выми, практически не изменилась в Приокско-Террасном БЗ и снизилась в осадках Шаджатмаза и Воронежского БЗ на 25 и 16 % соответственно.

(рис. 1.3.2.2 а).

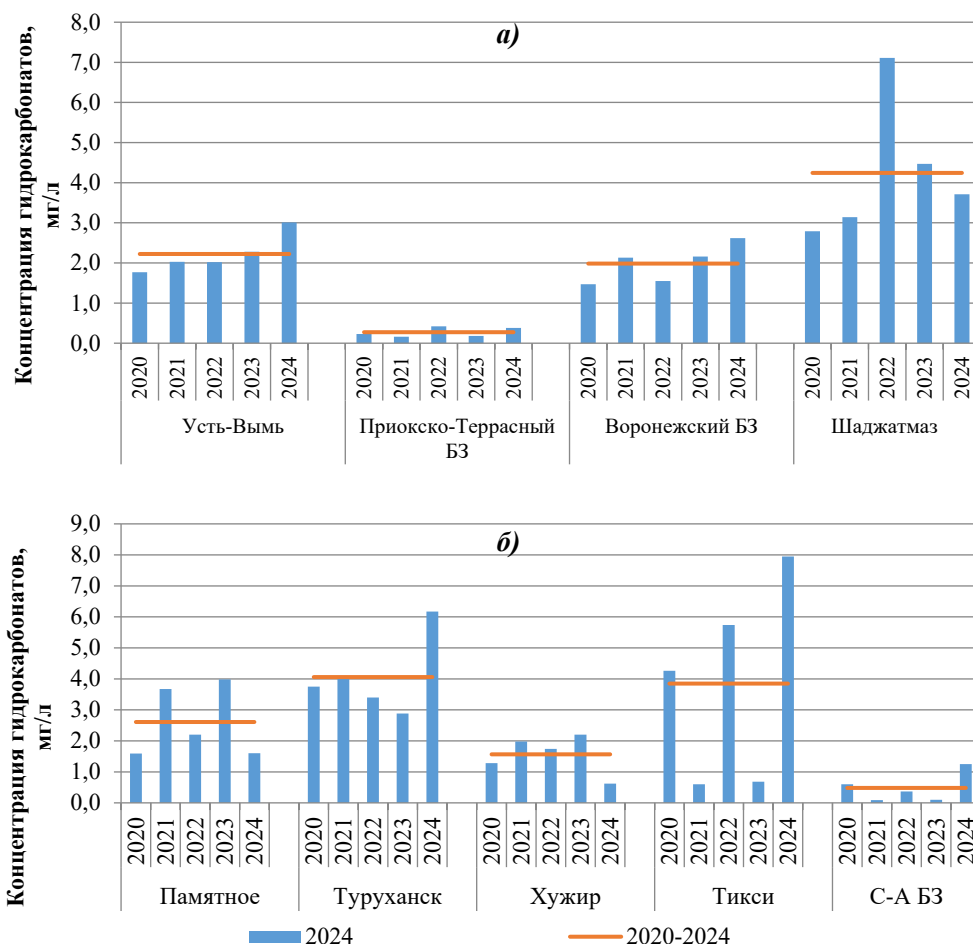


Рис. 1.3.2.1. Изменение средневзвешенной концентрации гидрокарбонатов в осадках фоновых станций ЕЧР (а) и АЧР (б), 2020–2024 гг.

Более высокие содержания сульфатов в осадках по-прежнему характерны для Воронежского БЗ. В целом за 5-летний период средневзвешенная концентрация сульфатов в осадках на ЕЧР в среднем составила 1,38 мг/л.

Средневзвешенная концентрация сульфатов в осадках АЧР в 2020-2024 гг. для всех станций не превышала 3,0 мг/л (рис. 1.3.2.2 б). В химическом составе осадков Памятного и Туруханска в период 2022-2024 гг. наблюдались значительные колебания концентрации сульфатов от 1,5 до 2,4 мг/л.

Пространственная неоднородность хлоридов также проявляется повышенным их содержанием в осадках АЧР по сравнению с осадками ЕЧР (рис. 1.3.2.3).

В 2024 г. диапазон изменения концентрации хлоридов в осадках ЕЧР составил 0,50–0,90 мг/л, на АЧР – 1,07 – 2,88 мг/л.

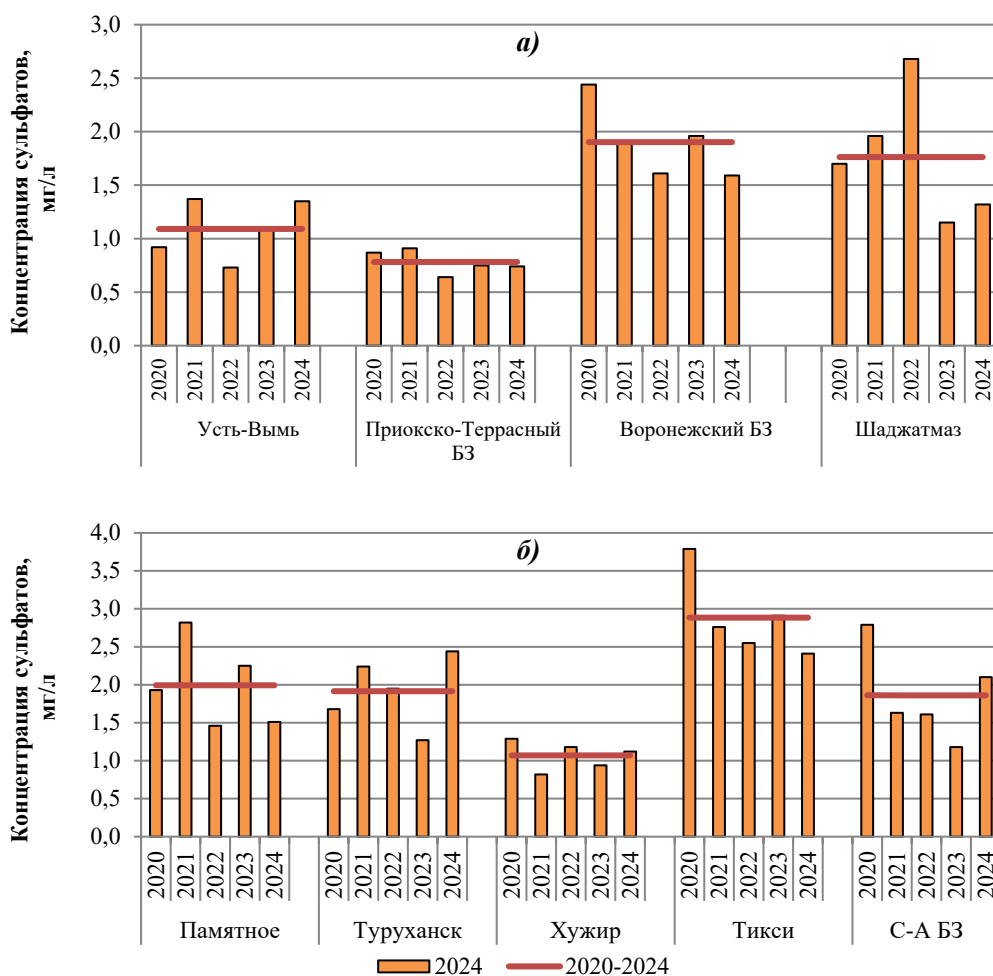


Рис. 1.3.2.2. Изменение средневзвешенной концентрации сульфатов в осадках фоновых станций ЕЧР (а) и АЧР (б), 2020–2024 гг.

На ЕЧР в 2024 г. содержание хлоридов в атмосферных осадках на большинстве фоновых станциях, приблизилось к среднему значению за период. На станции Шаджатмаз отмечается повышение концентрации хлоридов на 22,6% в сравнении с 2023 г. и средним значением за 5 лет.

Для прибрежной станции Тикси из-за вклада морской составляющей характерны максимальные концентрации хлоридов и наибольшие их временные колебания. В 2023 г. в осадках Тикси концентрация хлоридов увеличилась практически в 2 раза в сравнении со средним значением за 5 лет, а в 2024 г. снизилась в 10 раз.

Диапазон изменения нитратов в осадках в 2024 г. составил от 0,82 до 1,40 мг/л на ЕЧР и от 0,28 до 1,46 мг/л на АЧР. В 2024 г. максимальные концентрации нитратов по-прежнему наблюдались на ЕЧР в осадках Воронежского БЗ и Шаджатмаза и на АЧР на станции Памятная. В 2024 г. концентрации нитратов в осадках Воронежского БЗ практически не изменились в сравнении с 2023 г. (рис. 1.3.2.4 а). В целом средние за 5-летний период средневзвешенные концентрации нитратов в осадках ЕЧР не превышали 1,8 мг/л и находились в интервале от 0,7 до 1,7 мг/л.

В 2024 г. на АЧР средневзвешенные значения концентрации нитратов в сравнении с

2023 г. практически не изменились в осадках Туруханска, Хужира и Сихоте-Алинского БЗ. Более высокие концентрации нитратов на АЧР определены в атмосферных осадках Памятное и в период 2023-2024 г – в осадках станции Хужир (рис. 1.3.2.4 б). Доля нитратов в осадках Хужира в 2024 г. практически не изменилась в сравнении с 2023 г. и увеличилась на 33,7% от среднего за период. Наименьшие колебания концентрации нитратов в осадках АЧР по-прежнему характерны для Туруханска и среднее значение за 2020–2024 гг. не превышало 0,60 мг/л.

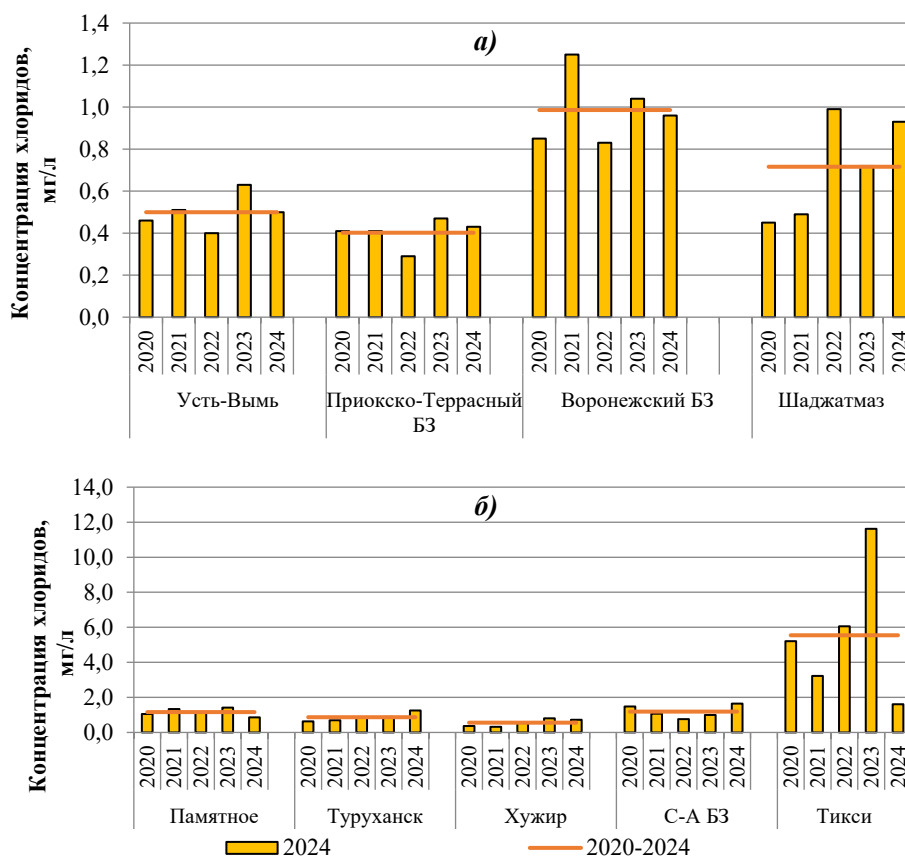


Рис. 1.3.2.3. Изменение средневзвешенной концентрации хлоридов в осадках фоновых станций ЕЧР (а) и АЧР (б), 2020–2024 гг.

Концентрация аммония в осадках фоновых станций в 2024 г. на ЕЧР изменялась от 0,20 мг/л в Приокско-Террасном БЗ до 0,83 мг/л – в Шаджатмазе и на АЧР от 0,10 мг/л в Хужире до 0,77 мг/л в осадках станции Тикси. Низкие содержания аммония в 2024 г, как и за пятилетний период были характерны для осадков Приокско-Террасного, а также Туруханска и Хужира, составив в среднем 0,20 мг/л (рис. 1.3.2.4б).

Из катионов в осадках ЕЧР и АЧР, за исключением Тикси, преобладал преимущественно кальций, максимальные концентрации которого характерны для Шаджатмаза и Туруханска и в 2024 г. составили соответственно 1,3 и 1,9 мг/л. В осадках Тикси содержание натрия в 2024 г снизилось на 53 % по сравнению с периодом 2020 – 2024 гг. и составило 2,32 мг/л, что по-прежнему выше по сравнению с остальными фоновыми станциями из-за географических

особенностей расположения станции.

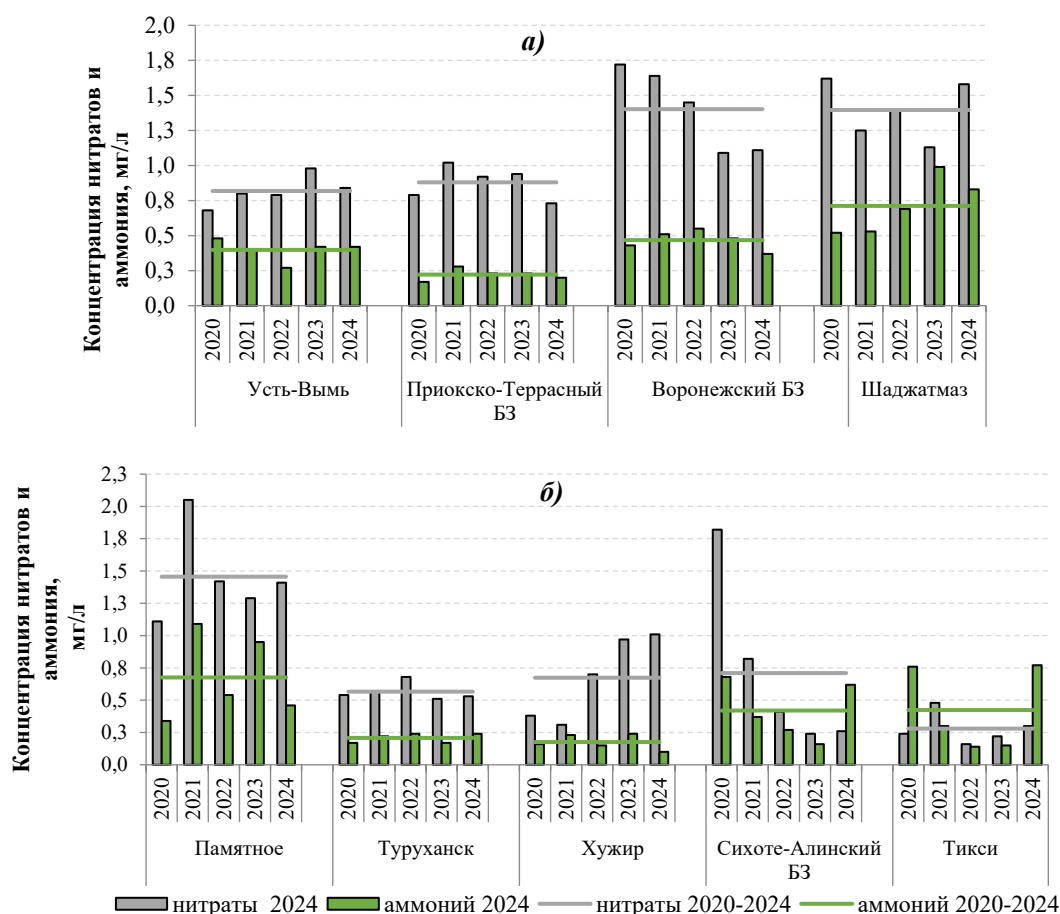


Рис. 1.3.2.4. Изменение концентрации нитратов и аммония в осадках фоновых станций ЕЧР (а) и АЧР (б), 2020–2024 гг.

Пространственное распределение среднемесячного значения рН носит зональный характер: кислотность осадков, уменьшаясь с севера на юг и с запада на восток, следует примерно за расположением географических зон. В 2024 г. средневзвешенные значения рН осадков фоновых станций были близки или выше равновесного значения (5,6). В 2024 г. по сравнению с 2023 г. практически на всей территории РФ кислотность осадков фоновых станций, выраженная средневзвешенным значением рН, или снизилась в пределах 0,1-0,4 ед. рН, или сохранилась практически неизменной. Изменения рН осадков связаны, в основном, с изменением концентрации гидрокарбонатов и/или сульфатов в осадках.

В 2024 г. максимальная кислотность осадков (рН_{мин}) на ЕЧР наблюдалась в недельных пробах осадков Приокско-Тerrasного БЗ – 4,77, Воронежского БЗ – 4,63. На станции Шаджатмаз минимальное значение рН недельных проб осадков в 2024 г. составило 5,40 ед. рН, а диапазон изменения рН в целом на ЕЧР в 2024 г. варьировал в пределах 4,63–6,75 ед.рН.

Интервал изменения кислотности недельных проб осадков на АЧР колебался от 5,38 до 7,45 ед. рН (Туруханск). В осадках Хужира по данным месячных измерений показатель рН

осадков изменялся от 5,21 до 6,78 ед.рН.

Выпадение веществ с осадками. Годовые потоки загрязняющих веществ с атмосферными осадками рассчитываются на основе данных по химическому составу и их количеству. Географическое распределение поступления веществ на единицу площади может отличаться от распределения концентраций этих веществ, так как зависит от общей суммы осадков.

Величина суммарных влажных выпадений (Р) загрязняющих компонентов на большинстве фоновых станций в значительной степени определяется суммой осадков (рис. 1.3.2.5).

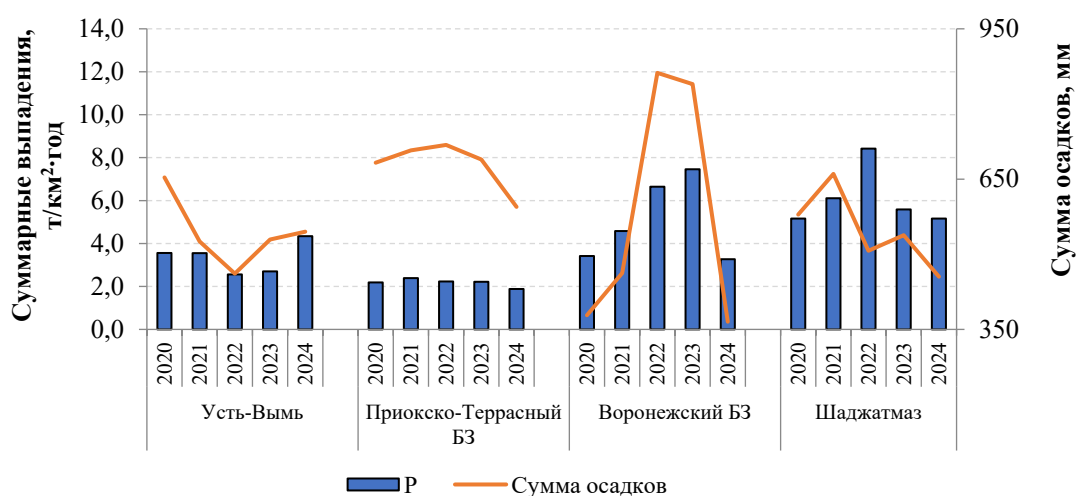


Рис. 1.3.2.5. Суммарные влажные выпадения на ЕЧР, 2020–2024 гг.

Влажные выпадения веществ всегда более высокие на станциях с большим количеством осадков. Так, на ЕЧР в 2024 г. максимальные суммарные выпадения 5,16 т/км² в Шаджатмазе при сумме осадков 455,3 мм, а на АЧР – в Туруханске 12,2 т/км² при сумме выпавших за год осадков 857,9 мм. В 2024 г. на большинстве станций ЕЧР отмечается снижение годовой суммы осадков. Наибольшее снижение на 57,5 % наблюдалось в Воронежском БЗ, что отразилось на величине влажных выпадений, которые снизились в 2,3 раза до 3,27 т/км²·год. С 2022 г. наблюдалось направленное снижение суммы осадков в Шаджатмазе, что, в свою очередь, повлияло на сумму влажных выпадений. На станции Усть-Вымь годовое значение суммы осадков наоборот с 2022 г. постепенно увеличивается и в 2024 г. составило 545,0 мм, что сказалось на величине влажных выпадений, которые соответственно увеличились на 37,8 % до 4,32 т/км²·год.

В 2024 г. на территории АЧР на всех станциях кроме Тикси сумма осадков увеличилась на 13% в Туруханске и в 2,4 раза – в Сихоте-Алинском БЗ, что вызвало рост влажных выпадений на 50% в Туруханске и более чем в 5 раз в Сихоте-Алинском БЗ. На станциях Памятное влажные выпадения снизились несмотря на повышение суммы осадков, а на станции Хужир уровень

влажных выпадений практически не превышал 1,2 т/км²·год (рис. 1.3.2.6).

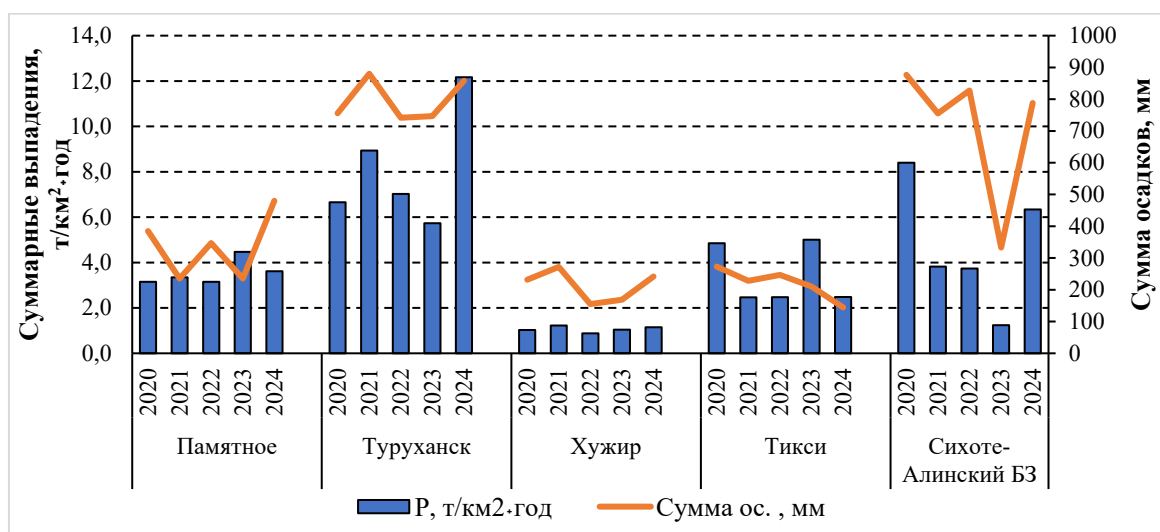


Рис. 1.3.2.6. Суммарные влажные выпадения на АЧР, 2020–2024 гг.

Наибольший интерес представляют выпадения кислотных компонентов – серы сульфатной ($S(SO_4^{2-})$) и суммарного азота ($\Sigma N = N(NO_3^-) + N(NH_4^+)$), значения которых за 2024 г. представлены в таблице 1.3.2.3.

Таблица 1.3.2.3. Выпадение серы, азота и суммы ионов (P) с осадками, 2024 г.

Станция	q, мм	S(SO ₄)	N(NO ₃)	N(NH ₄)	ΣN	P	N(NH ₄)/N(NO ₃)	S/ΣN
		т/км ² ·год						
ЕЧР								
Усть-Вымь	545,0	0,25	0,10	0,18	0,28	4,34	1,80	0,90
Приокско-Тerrasный БЗ	594,5	0,15	0,10	0,09	0,19	1,88	0,90	0,79
Воронежский БЗ	365,4	0,19	0,09	0,11	0,20	3,27	1,22	0,95
Шаджатмаз	455,3	0,20	0,16	0,29	0,45	5,16	1,81	0,4
АЧР								
Памятное	480,2	0,24	0,15	0,14	0,33	3,62	1,10	0,73
Туруханск	857,9	0,70	0,10	0,16	0,26	12,17	1,60	2,70
Хужир	241,5	0,09	0,06	0,02	0,08	1,15	0,33	1,13
Сихотэ-Алинский БЗ (Терней)*	787,7	0,55	0,05	0,38	0,43	6,34	7,60	1,3
Тикси	144,5	0,12	0,01	0,09	0,10	2,48	9,00	1,20

Выпадения серы сульфатной в 2024 г. были несколько выше на АЧР, чем на ЕЧР, что связано с большим количеством выпадающих осадков в Туруханске и Сихотэ-Алинском БЗ, и колебались от 0,09 до 0,70 т/км²·год, а на ЕЧР варьировали в пределах от 0,15 до 0,25 т/км²·год. Более низкие значения интенсивности выпадения серы с осадками на ЕЧР по-прежнему характерны для Приокско-Тerrasного БЗ, Воронежского БЗ и Шаджатмаза и в 2024 г. составили в среднем 0,20 т/км² год (рис. 1.3.2.7).

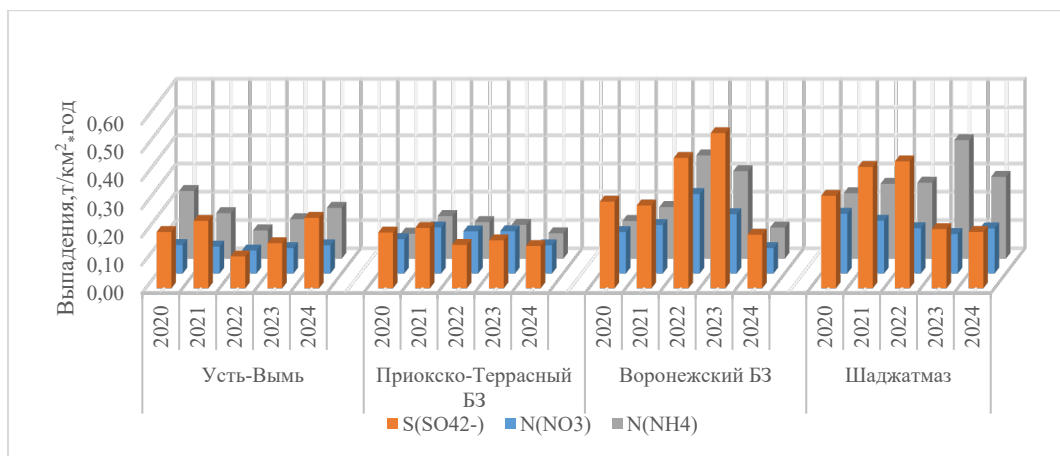


Рис. 1.3.2.7. Выпадения серы (S), азота нитратного (N(NO₃)) и азота аммонийного (N(NH₄)) с атмосферными осадками на станциях ЕЧР в период с 2020 по 2024 гг.

Для большинства фоновых станций ЕЧР характерно преобладание интенсивности выпадений суммарного азота над выпадениями серы и выпадений азота аммонийного над нитратным. В 2024 г. интенсивность потоков соединений азота от суммарной величины выпадений составляла от 6 % (в Усть-Выми) до 10% (в Приокско-Тerrasном БЗ)

Для АЧР характерна обратная картина – на большинстве станций интенсивность выпадений серы превышает интенсивность выпадений соединений азота. Исключение составляет станция Памятное, где интенсивность выпадений суммарного азота на 27 % превышает выпадения серы, что в долгосрочном варианте создает предпосылки для закисления территории и низкоминерализованных вод с атмосферным питанием.

На АЧР минимальные выпадения серы, по-прежнему, характерны для станции Хужир, что объясняется низким содержанием сульфатов и малым количеством выпадающих здесь осадков (рис. 1.3.2.8).

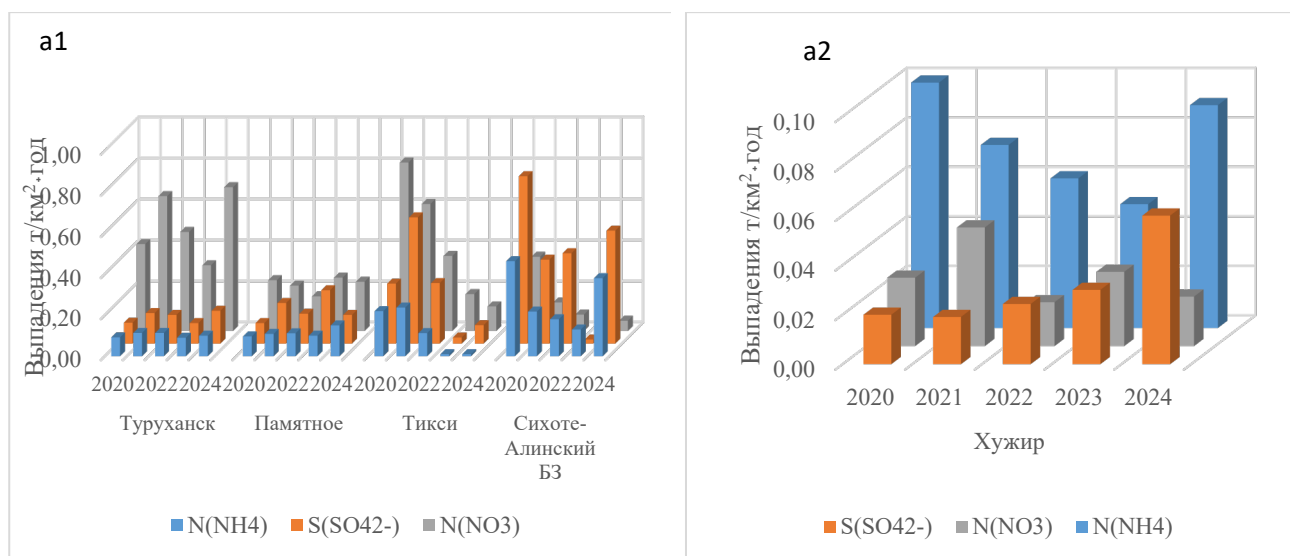


Рис. 1.3.2.8. Выпадения серы (S), азота нитратного (N(NO₃)) и азота аммонийного (N(NH₄)) с атмосферными осадками на станциях АЧР в период с 2020 по 2024 гг.

1.4. Загрязнение воздуха и осадков соединениями серы и азота по данным станций мониторинга ЕАНЕТ

В рамках выполнения программ наблюдений международной Сети мониторинга выпадения кислотных осадков в Восточной Азии (ЕАНЕТ) на территории Азиатской части России с 2000 г. постоянно работают 3 станции: две в регионе оз. Байкал - Иркутск (городская) и Листвянка (региональная); одна в Приморском крае – Приморская (региональная). На протяжении более 20 лет только станции ЕАНЕТ предоставляют результаты регулярного мониторинга содержания загрязняющих веществ в атмосфере на азиатской части России вне городов.

По данным за период наблюдения 2000-2024 гг. среднегодовые значения содержания газовых примесей в атмосферном воздухе на станциях ЕАНЕТ имели тенденции к возрастанию только для SO_2 в регионе оз. Байкал (рис. 1.4.1). На станции Приморская продолжается снижение концентраций в атмосферном воздухе соединений серы, а также газообразных и аэрозольных восстановленных форм азота. В годовом ходе концентраций аэрозолей сульфатов и нитратов на региональных станциях хорошо выражен максимум во второй половине холодного периода.

Среднее содержание SO_2 на станциях Листвянка и Иркутск значительно превышало уровни, отмечавшиеся на станции Приморская, возрастая в основном за счет высоких значений в холодный период (рис. 1.4.2). Доля аэрозольных частиц в общем содержании всех измеряемых веществ в воздухе снизилась на всех станциях ЕАНЕТ, по большей части вследствие уменьшения вклада сульфатов. В Приморском крае характерное ранее преобладание аэрозольной фракции серосодержащих соединений сменилось в период 2020–2024 гг. ростом доли газовых фракций, при этом общее содержание соединений серы продолжает снижаться после 2012 г. Также в Приморье отмечается уменьшение концентраций газообразного восстановленного азота, в то время как в регионе оз. Байкал его содержание в атмосфере практически не меняется в течение более 15 лет.

В зимние месяцы года для Дальнего Востока (в Приморье) характерно относительно малое количество осадков, в 2023 и 2024 годах в течение отдельных месяцев зимой отмечено практически полное отсутствие атмосферных выпадений (рис. 1.4.3). В соответствии с годовой динамикой атмосферных осадков пик величины выпадений основных ионов приходится на теплый период (рис. 1.4.3 б, г, е). В то же время более высокие концентрации преобладающих веществ наблюдаются в холодный период (рис. 1.4.3 а, в, д).

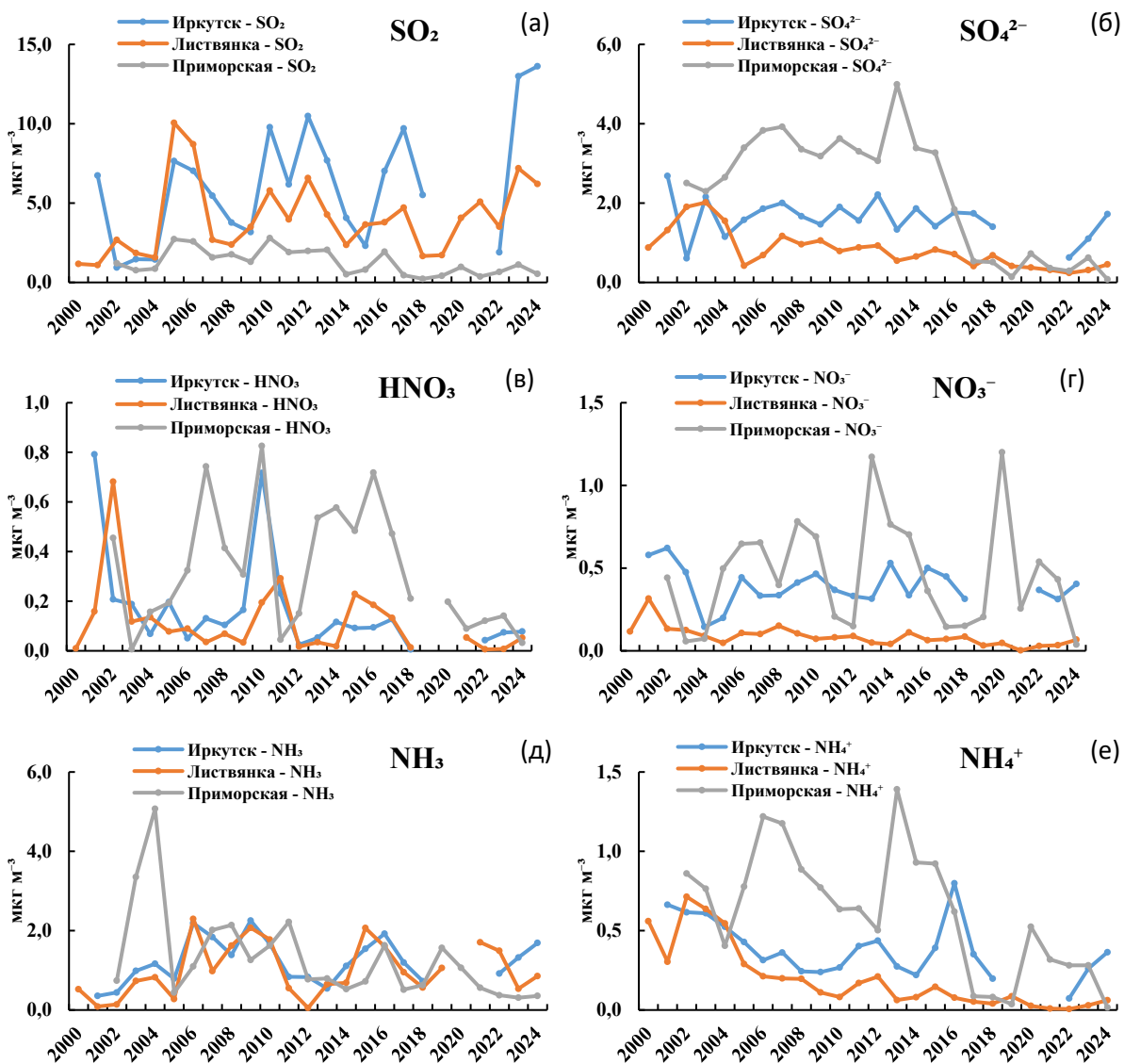


Рис. 1.4.1. Изменения средних годовых концентрации соединений газовой и аэрозольной фракций окисленной серы (а, б), окисленного азота (в, г) и восстановленного азота (д, е) в атмосферном воздухе на станциях ЕАНЕТ ($\mu\text{кг м}^{-3}$)

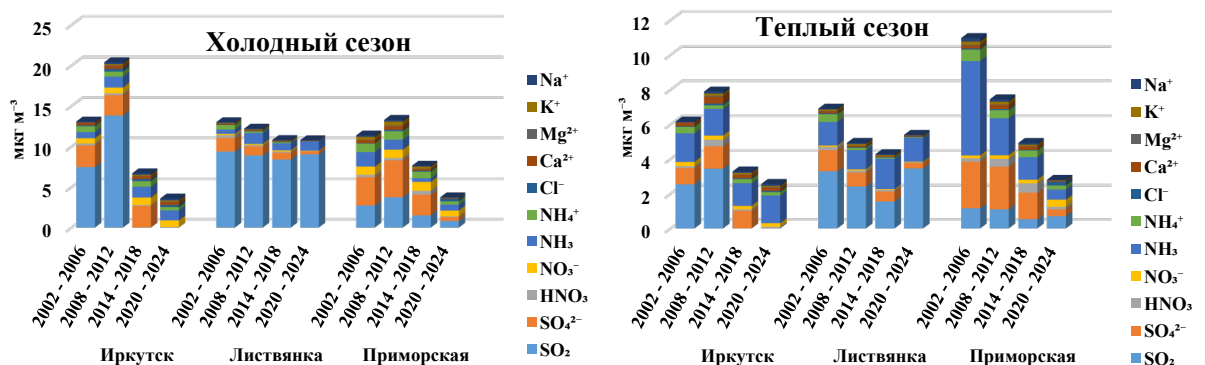


Рис. 1.4.2. Изменение средних пятилетних значений содержания кислотообразующих веществ в общем составе аэрозолей и газов ($\mu\text{кг м}^{-3}$) на станциях ЕАНЕТ в холодный (слева) и теплый (справа) сезоны в 2002–2024 г.

Как и в предыдущий год, наибольшие потоки выпадений кислотообразующих компонентов на Приморской наблюдались в теплый период, охватывающий в 2024 г. месяцы с

марта по октябрь, и в отдельные дни которого регистрировались очень высокие суммы осадков. При этом, при относительно более высоких концентрациях аммония в осадках, его потоки превышали значения месячных выпадений в районе оз. Байкал в 3-7 раз. Месячные суммы выпадений сульфатов и нитратов были сравнимы или немного выше соответствующих значений в регионе оз. Байкал, где в годовом ходе также преобладают летние осадки.

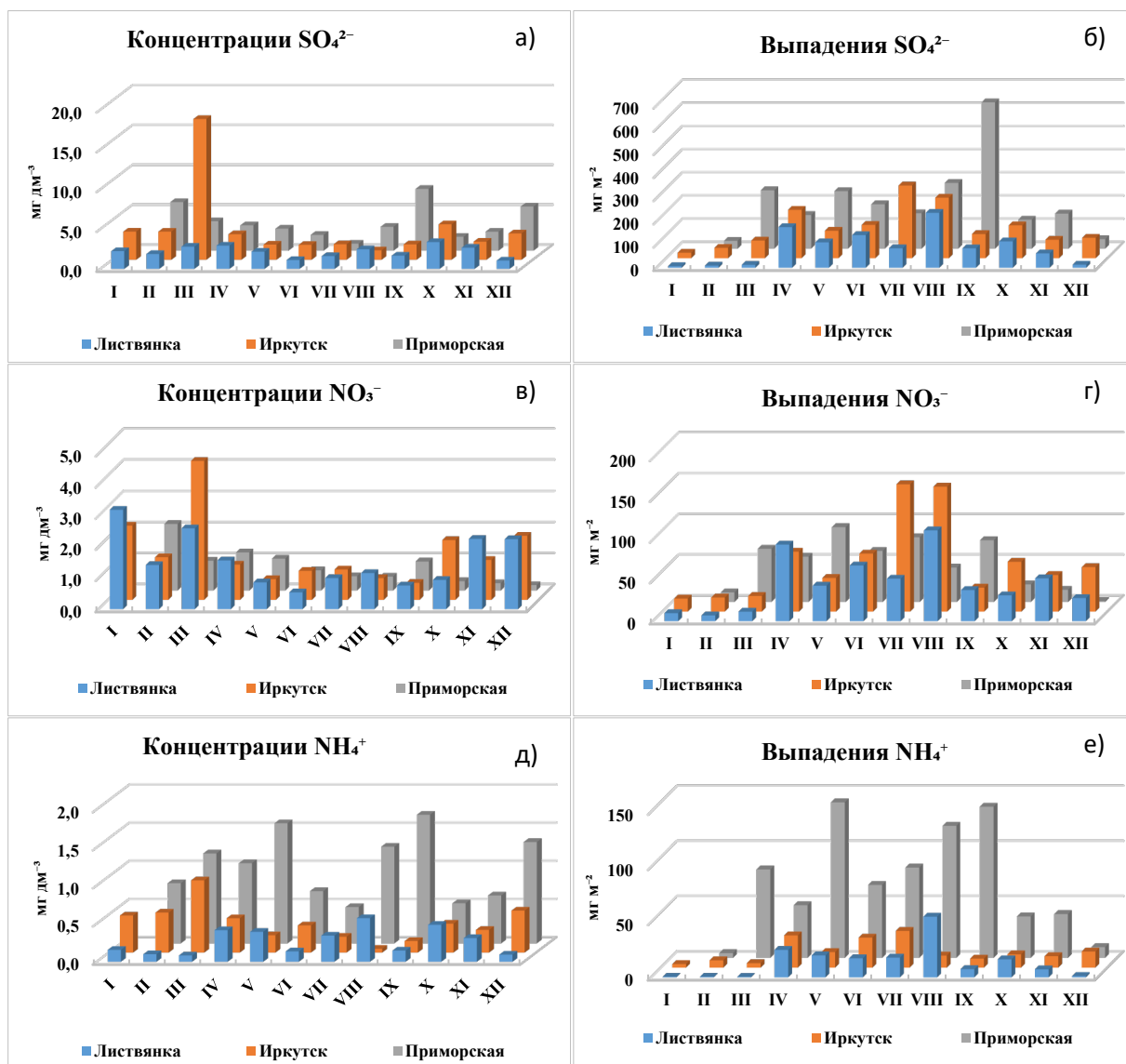


Рис. 1.4.3. Годовой ход концентраций (а, в, д) и выпадений (б, г, е) основных кислотообразующих ионов с осадками на станциях ЕАНЕТ в 2024 году

1.5. Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ.

Главную роль в формировании трансграничного загрязнения воздуха и осадков соединениями серы и азота играет перенос выброшенных в атмосферу кислотообразующих соединений, главным образом, газообразных оксидов серы и азота. В ходе дальнего переноса в атмосфере происходит их химическая трансформация до кислотных ионов, и формируются выпадения на территории соседних стран в виде кислотных осадков и сухого осаждения аэрозолей. Мониторинг трансграничного загрязнения в рамках выполнения международной «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе» (ЕМЕП – Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe) в 2024 г. проводился на четырех станциях ЕМЕП, расположенных в Северо-Западном регионе России (Зареченск, Пинега) и в центральной части Европейской России: Данки (юг Московской области) и Лесной заповедник (Тверская область). Работавшая по программе ЕМЕП с 1980 г. станция Янискоски (69° с.ш.) была закрыта, и с начала 2022 г. вместо нее была организована новая станция ЕМЕП Зареченск (67° с.ш.), расположенная в том же Северо-Западном регионе, в Мурманской области. Несмотря на то, что из-за изменения места расположения станции ЕМЕП прервался непрерывный ряд наблюдений, открытие новой станции позволило провести текущую оценку выпадений загрязняющих веществ в этом регионе. Основные измерения по программе мониторинга ЕМЕП представляют собой регулярный анализ содержания в воздухе и атмосферных осадках основных химических соединений, определяющих кислотно-щелочной баланс выпадений. По результатам обработки годовых массивов данных наблюдений для районов размещения станций оценены величины атмосферных выпадений серы и азота, образующих приоритетные кислотообразующие соединения.

При использовании традиционного анализа степени закисления атмосферных осадков по величине рН, показателю концентрации свободных ионов водорода, необходимо учитывать, что он также характеризует соотношение анионов закисляющих соединений и щелочных нейтрализующих катионов, образующихся и абсорбируемых в облачных слоях в ходе переноса. На это соотношение влияют как природные, так и антропогенные факторы. Осадки, отобранные на станциях ЕМЕП, можно отнести к природно-нейтральным ($5 < \text{pH} < 7$). Распределение измеренных значений рН суточных осадков в 2024 г. в различных диапазонах представлено в табл. 1.5.1.

По данным многолетних наблюдений сульфат-ион остается доминирующим кислотным анионом в составе ионного баланса атмосферных осадков для всех станций ЕМЕП, его вклад составляет 17-31%, однако вклады нитрат-иона и ионов аммония также довольно существенны –

7-15% и 10-22%, соответственно. Среднегодовая концентрация сульфатной серы в осадках в 2024 г. составила 0,19 мг S/л на станции Лесной заповедник (Тверская область), 0,23 мг S /л на станции Зареченск и на станции Данки (в районе Приокско-Тerrasного биосферного заповедника) и 0,30 мг S/л на станции Пинега. Среднегодовое содержание нитратов в осадках изменялось от 0,14 мг N/л на станции Зареченск (Мурманская обл.) до 0,21 мг N/л на станциях Лесной и Данки. Диапазон вариации концентраций ионов аммония в осадках составил 0,13 - 0,32 мг N/л. Минимальные концентрации ионов аммония в 2024 г. наблюдались на станции Зареченск, а максимальные – на станции Лесной.

Таблица 1.5.1. Распределение измеренных значений показателя кислотности (ед. рН) по диапазонам характера закисления атмосферных осадков в районах расположения российских станций ЕМЕП в 2024 г.

Станция (широта, гр. с.ш.)	рН минимально е	рН максимальн ое	рН среднее	Доля проб в диапазоне рН, %				
				<4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	> 7
Зареченск, 67	4,22	6,19	4,99	0	43	56	1	0
Пинега, 65	4,09	6,76	5,53	0	4	61	35	0
Лесной, 56	4,16	7,31	5,08	0	36	62	1	1
Данки, 55	4,01	6,36	5,29	0	13	77	10	0

Анализ внутригодовой изменчивости среднемесячных концентраций соединений серы и азота показал чётко выраженную сезонность. На станции Данки максимальные среднемесячные концентрации сульфатов в 2024 г. наблюдались в марте (1,24 мгS/л), снижались до 0,12 мгS/л в июле и возрастали в сентябре до 0,71 мгS/л, содержание нитратов максимально в ноябре (0,54 мгN/л), ионов аммония – в феврале (0,51 мгN/л). В годовом разрезе максимальные концентрации сульфатов, нитратов и ионов аммония на остальных станциях ЕМЕП наблюдались также в холодный период года.

Величина выпадений соединений серы и азота на подстилающую поверхность дает возможность оценить степень опасности воздействия загрязнения атмосферы на состояние окружающей среды. В долгосрочной перспективе избыточное поступление этих веществ может привести к закислению почвенных растворов и ухудшению свойств почвы. Выпадение загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность происходит с атмосферными осадками (влажные выпадения) и при осаждении (поглощении) веществ в виде газов и аэрозольных частиц (сухие выпадения). Поток влажных выпадений серы и азота (нитратного и аммонийного) на подстилающую поверхность определяется их содержанием в осадках и количеством последних. При этом колебания концентраций основных ионов в атмосферных осадках могут быть меньше, чем изменчивость сумм выпадающих осадков, особенно для межгодовых вариаций сезонных и годовых значений.

Рассчитанные по средневзвешенным концентрациям и месячным суммам выпавших осадков величины влажных выпадений для районов станций составили в 2024 г.: 0,14-0,21 и 0,21-0,41 г/м² в год для серы и суммарного азота соответственно. Потоки влажных выпадений серы и

азота в летний период были существенно выше, чем в зимний. Доля аммонийного азота составила около 60% от суммарного влажного выпадения азота.

Многолетние вариации выпадений связаны с межгодовой изменчивостью сумм осадков (вариации их месячных и годовых величин могут составить десятки процентов от среднемноголетних значений), а также с динамикой выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в странах Европы. Идентификация роли последнего фактора является важной задачей ЕМЕП, так как одной из целей программы является мониторинг антропогенного загрязнения, результаты которого признаются подтверждением эффективности предпринятых согласованных природоохранных мер в странах-участницах Конвенции и в Европе в целом для улучшения состояния окружающей среды. Изменение значений годовых выпадений серы из атмосферы с осадками на российских станциях ЕМЕП представлено на рис. 1.5.1. При относительно большой вариации годовых значений можно отметить отсутствие выраженного уменьшения сумм влажных выпадений за период действия Гетеборгского протокола (подписан в 1999 г.) с незначимыми характеристиками линейного тренда. Результаты расчета многолетних выпадений азота с осадками в виде сумм нитратных и аммонийных соединений представлены на рис. 1.5.2. В целом в 2024 г. на большинстве российских станциях ЕМЕП наблюдался незначительный рост влажных выпадений серы и азота с атмосферными осадками. Однако на станции Лесной в 2024 г. выпадения аммонийного азота заметно выросли и превысили $0,40 \text{ г/м}^2/\text{год}$.

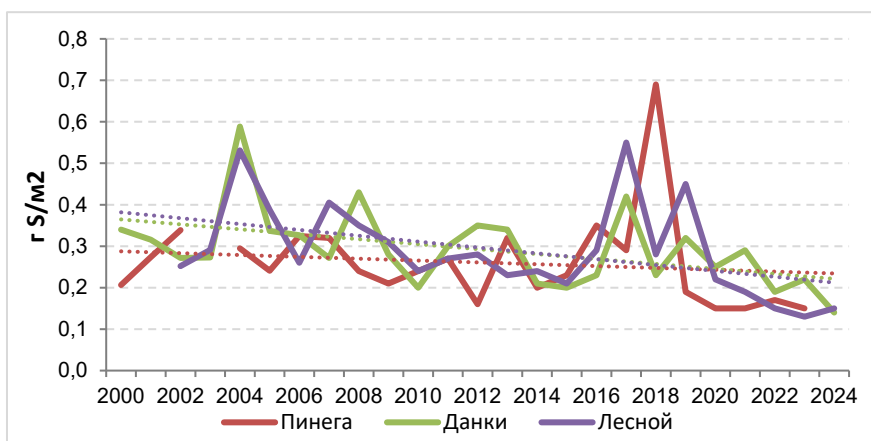


Рис. 1.5.1. Многолетние выпадения сульфатной серы из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП ($\text{г S/м}^2/\text{год}$)

Для характеристики степени экологической опасности, вызываемой поступлением избыточного содержания кислотообразующих веществ из атмосферы, в программах Конвенции ЕЭК ООН (включая ЕМЕП) используется сравнение атмосферных выпадений с уровнями критических нагрузок, рассчитанных с учетом чувствительности почв к потоку веществ из атмосферы в части изменения их свойств в долгосрочной перспективе. Условием порога риска принято, что экосистемы могут выдерживать воздействие количества подкисляющих выпадений без появления какого-либо ущерба. Величины критических нагрузок оценены для разных

географических районов с использованием методических рекомендаций ЕЭК ООН, однако для азота они являются ориентировочными. Поступление из атмосферы рассчитывается в виде общих (суммы сухих и влажных) выпадений всех химических соединений серы и азота, при этом учитывается, что согласно ранее выполненным оценкам для российских станций ЕМЕП вклад сухих выпадений составляет около 40% от общих для серы и около 10% для азота. Последнее можно считать несколько заниженной оценкой, поскольку программа мониторинга на российских станциях ЕМЕП не включает измерения газообразной азотной кислоты, аммиака и оксидов азота.

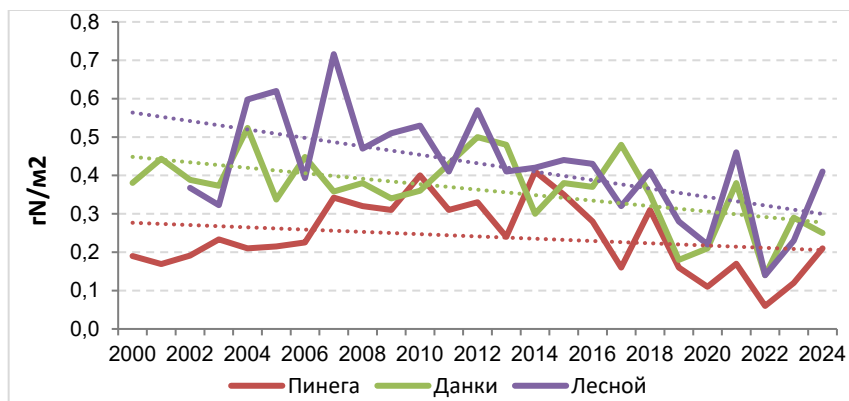


Рис. 1.5.2. Многолетние выпадения суммарного азота (нитратного и аммонийного) из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП (г N/m²/год)

Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2024 г. и значений критических нагрузок по этим элементам для районов расположения станций, представленных в табл. 2.26, позволяют сделать вывод, что выпадения серы существенно ниже уровня критических нагрузок для регионов России в районах расположения российских станций ЕМЕП. Для азота ситуация достаточно тревожная, поскольку в таблице представлены оценки только влажных выпадений без учета сухих выпадений.

Таблица 1.5.2. Сравнение годовых влажных выпадений в 2024 г. и критических нагрузок для серы и азота в районах расположения российских станций ЕМЕП

Станция	Влажные выпадения и критические нагрузки для серы, г S/m ² /год		Влажные выпадения и критические нагрузки для азота, г N/m ² /год	
	Выпадения	Нагрузки	Выпадения	Нагрузки
Зареченск	0,21	0,32-0,64	0,25	<0,28
Пинега	0,15	0,32-0,64	0,21	<0,28
Лесной	0,15	1,6-2,4	0,41	0,56-0,98
Данки	0,14	1,6-2,4	0,25	0,56-0,98

1.6. Фоновый уровень выпадений серы и азота по данным о загрязнении снежного покрова в регионах Российской Федерации

Сеть мониторинга химического состава снежного покрова (ХССП), действующая с 1980 г., предоставляет данные как по химическому составу, так и по физическим характеристикам снеговой воды, отобранной на снегомерном маршруте.

Работа по определению загрязнения снежного покрова на сети включает два этапа: отбор проб с их первичной обработкой на гидрометеорологических станциях и анализ проб в химических лабораториях.

Отбор проб производится один раз в год на стационарных снегомерных маршрутах метеостанций в период максимального накопления влагозапаса в снеге, вместе с проведением измерений плотности снега, высоты снежного покрова и влагозапаса на снегомерном маршруте.

Анализ проб снежного покрова производится в сетевых и межрегиональных лабораториях УГМС. Определяются кислотность (водородный показатель pH), электропроводность и концентрация основных ионов гидрохимического состава природных пресных вод, из которых в обзоре представлены сульфаты (SO_4^{2-}), нитраты (NO_3^-) и аммоний (NH_4^+).

Сеть мониторинга химического состава снежного покрова в 23-х УГМС по состоянию на 1 января 2024 г. состояла из 546 снегомерных маршрутов на 523 пунктах наблюдений (ПН), расположенных в 68 субъектах РФ. Из-за отсутствия устойчивого снежного покрова в период зимнего сезона 2023-2024 гг., отбор проб не производился на значительных территориях юга Европейской части России (ЕЧР).

В обзоре представлены данные наблюдений 210 ПН, в которых сумма концентраций основных ионов (сульфатов, нитратов, аммония, хлоридов, калия, натрия, магния, кальция) в зимний период 2023-2024 гг. не превышала 15 мг/л. (рисунок 1.6.1). В работе не учитывались данные ПН с неполным составом ионов, измеренных в лабораториях УГМС, а также с кратковременным периодом залегания устойчивого снежного покрова.

Карты территории Российской Федерации на рисунках 1.6.1 и 1.6.2 представлены по состоянию на 1 мая 2024 г.

Районы наблюдений, где сумма ионов ХССП не превышает фоновых значений, относительно равномерно распределены по территории Европейской части России и юга Азиатской части России (АЧР). На юге и западе ЕЧР в зимний период 2023-2024 гг. снежный покров либо отсутствовал полностью, либо наблюдался в течение крайне непродолжительного срока, недостаточного для интерпретации данных за весь зимний период. На северных территориях АЧР сеть ПН крайне разрежена.

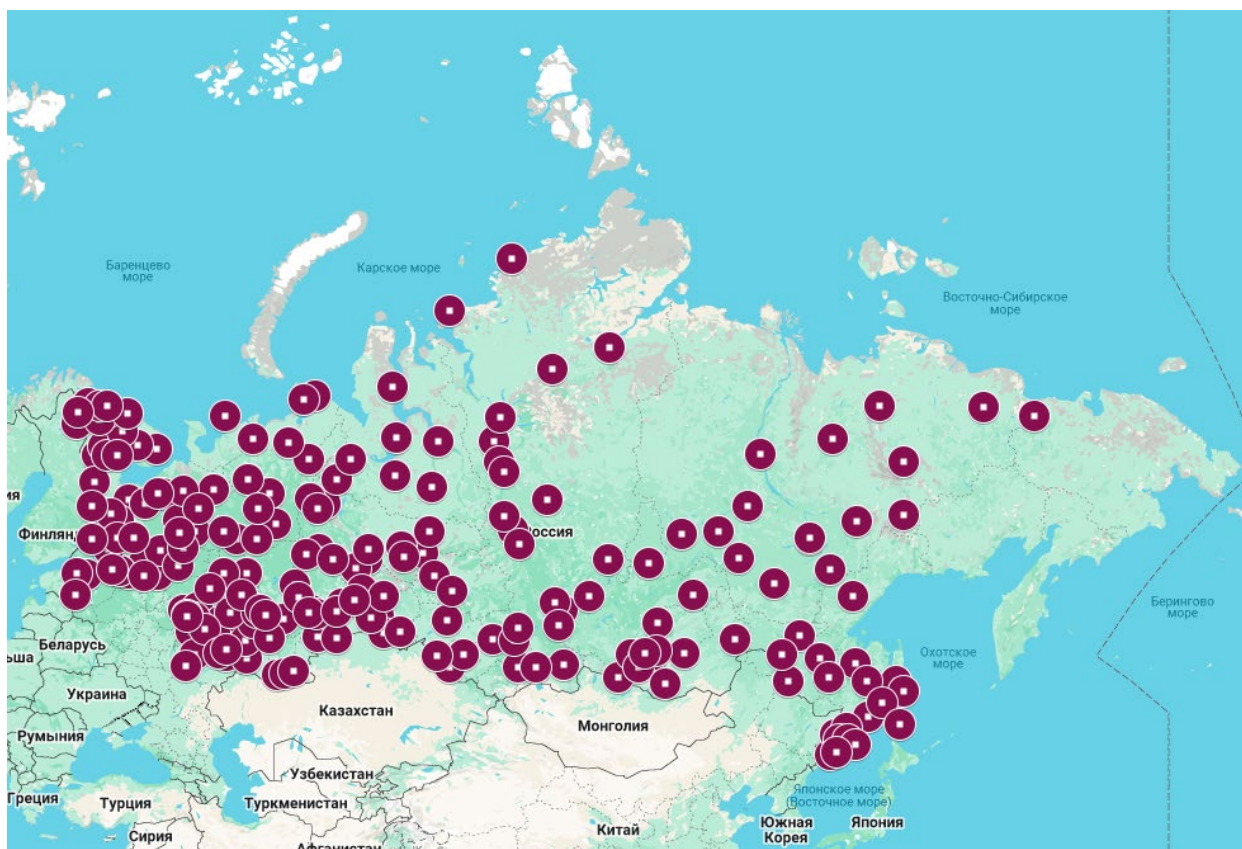


Рис. 1.6.1 – ПН с суммой ионов в снежном покрове менее 15 мг/л. в зимний период 2023-2024 гг.

В Камчатском крае и на ближайших к нему территориях, подвергающихся влиянию атмосферных выпадений вследствие вулканической деятельности, сумма концентраций основных ионов превышает 15 мг/л. Данные мониторинга ХССП на большей части ПН, находящихся вблизи крупных городов и промышленных центров РФ, в зонах трансграничного переноса и в прибрежной зоне показывают сумму ионов выше 15 мг/л. и при анализе также не учитываются.

Все 210 ПН распределены по территории 42 субъектов РФ, для которых была рассчитана интенсивность выпадения серы и азота, содержащихся в снежном покрове. Это значение рассчитывалось для каждого ПН как произведение концентрации иона и влагозапаса, делённое на время залегания устойчивого снежного покрова, и осреднено для каждого из субъектов (таблица 1.6.1). Показатели интенсивности выпадения азота на снежный покров были рассчитаны для суммы в формах ионов нитрата и аммония.

В зимний период 2023-2024 гг. на большей части территории страны потоки серы с атмосферными осадками составили менее 20 кг/км²·мес. Несмотря на исключение данных ПН с суммой ионов выше 15 мг/л., повышенная интенсивность выпадения серы на снежный покров была отмечена в Томской (38 кг/км²·мес.), Ульяновской (38 кг/км²·мес.), Свердловской (57 кг/км²·мес.) областях, в Республике Башкортостан (65 кг/км²·мес.). Максимальные выпадения зафиксированы в Пермском крае (66 кг/км²·мес.).

Таблица 1.6.1. Интенсивность выпадения серы и азота в регионах РФ в зимний период 2023-2024 гг.

Субъект РФ	Кол-во ПН	Интенсивность выпадения на снежный покров, кг/км ² ·мес.	
		Сера	Общий азот
Алтайский край	4	18	11
Амурская область	4	6	8
Архангельская область	12	9	12
Вологодская область	5	18	23
Забайкальский край	2	2	2
Иркутская область	6	14	6
Кировская область	4	20	31
Красноярский край	18	18	9
Курганская область	2	32	4
Ленинградская область	5	4	2
Мурманская область	16	12	14
Ненецкий автономный округ	5	5	5
Нижегородская область	7	10	24
Новосибирская область	1	24	9
Омская область	3	15	18
Оренбургская область	4	9	13
Пензенская область	1	26	17
Пермский край	2	66	8
Приморский край	9	15	13
Псковская область	1	2	4
Республика Башкортостан	2	65	9
Республика Бурятия	5	8	4
Республика Карелия	10	7	18
Республика Коми	7	9	13
Республика Марий Эл	1	21	40
Республика Саха (Якутия)	16	3	1
Республика Татарстан	5	16	22
Республика Тыва	1	2	5
Республика Хакасия	2	20	9
Самарская область	4	30	21
Саратовская область	1	19	30
Сахалинская область	3	12	2
Свердловская область	6	57	5
Томская область	2	38	23
Тюменская область	5	9	18
Удмуртская республика	3	10	30
Ульяновская область	1	38	39
Хабаровский край	5	7	10
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	11	6	11
Челябинская область	1	34	3
Чувашская республика	1	21	19
Ямало-Ненецкий автономный округ	7	6	13

В зимний период 2023-2024 гг. на 65 % территории РФ показатель интенсивности выпадения азота находится в пределах 10 - 15 кг/км²·мес. Самые высокие значения интенсивности выпадения азота среди рассматриваемых в обзоре субъектов РФ отмечены в Кировской (31 кг/км²·мес.) и Ульяновской (39 кг/км²·мес.) областях, а максимальное значение – на территории Республики Марий Эл (40 кг/км²·мес.).

Карта-схема распределения показателя рН в субъектах РФ дана по полным данным 523 ПН мониторинга ХССП в зимний период 2023-2024 гг. (рисунок 1.6.2).

На более чем 80% территории РФ среднемесячный показатель рН по регионам в зимний период 2023-2024 гг. находился в пределах 5,5 – 6,5 ед. (рисунок 1.6.2).

Регионы с показателем рН ниже 5,5 отсутствуют.



Рисунок 1.6.2 – рН снежного покрова в зимний период 2023 - 2024 г.

Показатели рН 6,5 – 7,0 на ЕЧР были отмечены в Республиках Мордовия (6,5 ед. рН) и Башкортостан (8,2 ед. рН) а также в Псковской области (6,7 ед. рН). На АЧР это Кемеровская область (6,7 ед. рН), а на Дальнем Востоке - Чукотский автономный округ (6,7 ед. рН) и Камчатский край (6,6 ед. рН), что может объясняться близостью незамерзающего моря, обеспечивающего подщелачивание.

1.7. Выпадения кислотообразующих веществ на территории субъектов Российской Федерации по результатам моделирования трансграничных переносов в регионе ЕМЕП за 2024 год

Для оценки регионального загрязнения окружающей природной среды вследствие дальнего переноса в рамках программы ЕМЕП Конвенции ЕЭК ООН о трансграничном переносе загрязняющих воздух веществ на большие расстояния специализированными центрами ЕМЕП ежегодно проводится моделирование трансграничного атмосферного переноса с использованием данных о выбросах, предоставляемых странами-участницами Конвенции на регулярной основе. Западный Метеорологический Синтезирующий Центр (МСЦ-Запад) подготавливает результаты расчетов по согласованной транспортно-химической модели для оценки концентраций и потоков из атмосферы веществ, связанных с кислотными осадками и химической трансформацией наиболее массовых газовых соединений серы и азота, а также озона и мелкодисперсного аэрозоля.

На базе результатов расчета потоков также оцениваются значения взаимосвязи «источник-рецептор», позволяя представлять уровни поступления веществ, вызывающих подкисление и эвтрофикацию экосистем, вследствие переноса из других стран, а также от источников на собственной территории. Данные результатов моделирования в виде значений для регулярной сетки региона ЕМЕП, публикуются в открытом доступе.

Представленные ниже результаты моделирования ЕМЕП за 2024 год подготовлены на метеорологических данных за 2024 год и данных о выбросах загрязняющих веществ за 2023 год. Согласно процедурам, планируется, что в 2026 году МСЦ-3 представит пересчитанные результаты за 2024 год, с учетом уточненных выбросов загрязняющих веществ за 2024 год, представленных странами.

Результаты обобщения данных моделирования представляют собой осредненные для субъектов РФ в границах региона ЕМЕП годовые потоки общих выпадений (суммы сухих выпадений и выпадений с осадками) из атмосферы соединений, содержащих окисленную серу (сернистый газ и сульфаты), окисленный азот (оксиды азота, нитраты и нитриты) и восстановленный азот (аммиак и ионы аммония). Несмотря на то, что для многих групп источников эмиссия оксидов серы и азота происходит в результате тех же процессов (например, сжигание ископаемого топлива), соотношение выбросов для указанных выше соединений и их прекурсоров может сильно различаться. Поэтому ниже информация представлена отдельно для этих групп соединений.

По результатам анализа ранжированного списка регионов по уровню поступления окисленной серы из атмосферы в 2024 году Московский регион вошел в число регионов с очень высокой плотностью общего выпадения: в столице этот показатель составил 0,47 т/км². Причины

высокой плотности выпадения окисленной серы могут быть связаны с значительными промышленными выбросами и интенсивным использованием автотранспорта в центре ЕЧР, а также особенностями обеспечения огромной городской инфраструктуры (рис. 1.7.1).

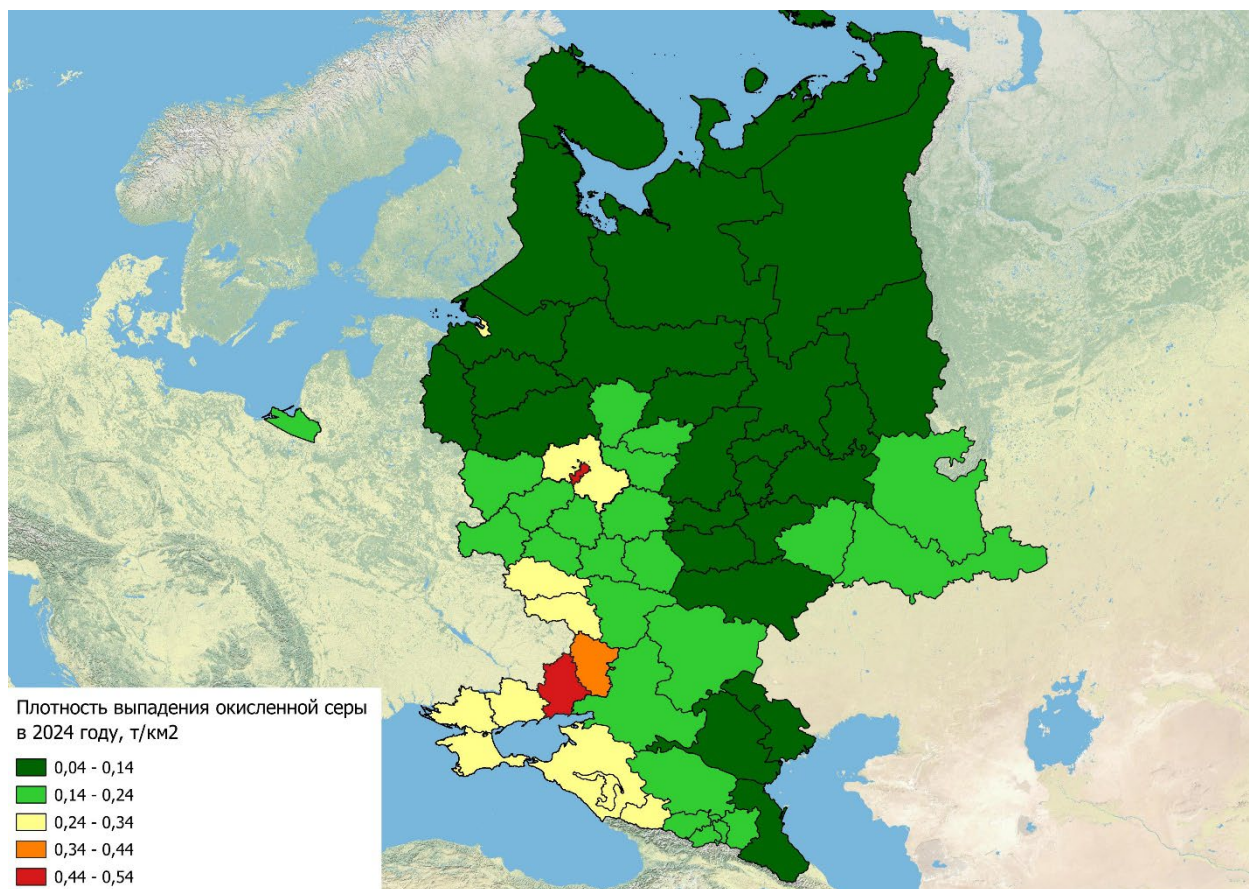


Рис.1.7.1. Плотность выпадения окисленной серы в 2024 году (т/км²).

Регионы с умеренной плотностью выпадения (0,24–0,34 т/км²) расположены на юге Европейской части России: в Краснодарском крае и Республике Адыгея, где ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность, но также существуют климатические условия для поступления морских воздушных масс и переноса из южных районов Европы, годовые потоки выпадений составили чуть выше 0,24 т/км².

Большинство субъектов Европейской части России в 2024 году характеризовались низкой или умеренной плотностью выпадения общей окисленной серы. К первой категории (0,04–0,14 т/км²) относятся регионы в Северо-Западном федеральном округе: Архангельская область, Республика Коми, Республика Карелия и Ненецкий Автономный Округ. Диапазон значений плотности выпадения в этих регионах составил от 0,04 до 0,07 т/км². Основными факторами более низких значений выпадений являются преобладание территорий с природными условиями и удаленность от крупных промышленных центров.

Группа с низкой плотностью выпадения включает субъекты Приволжского федерального округа: с диапазоном значений от 0,15 т/км² в Самарской области до 0,17 т/км² в Оренбург-

ской области. Также умеренные значения плотности выпадения наблюдались в 2024 году в субъектах Центрального Федерального округа: Брянской, Тульской, Владимирской, Смоленской областях – 0,17 – 0,20 т/км²; в Воронежской области – 0,22 т/км², а в Калужской области – 0,21 т/км². Умеренная плотность выпадений в регионах Центрального и Приволжского федеральных округов может быть обусловлена сочетанием природных и антропогенных факторов.

В 2024 году картина распределения плотности выпадения общего окисленного азота на территории Российской Федерации отличалась от выпадений окисленной серы. Средняя плотность выпадения общего окисленного азота варьировала от 0,17 до 0,28 т/км² на территории 36 субъектов ЕЧР, преимущественно в Центральном, Приволжском, и Северо-Кавказском федеральных округах (рисунок 1.7.2).

Столичные агломерации (Москва и Санкт-Петербург) подвержены потокам наибольшей плотности выпадения общего окисленного азота, достигшим 0,58 и 0,63 т/км² соответственно. Высокие значения плотности выпадения общего окисленного азота (0,40–0,51 т/км²) были зафиксированы в Московской области, что связано с промышленным развитием территорий, влиянием выбросов автотранспорта, в том числе, транзитного, а также – не снижающимися на протяжении десятилетия выбросами окислов азота в Восточной Европе.

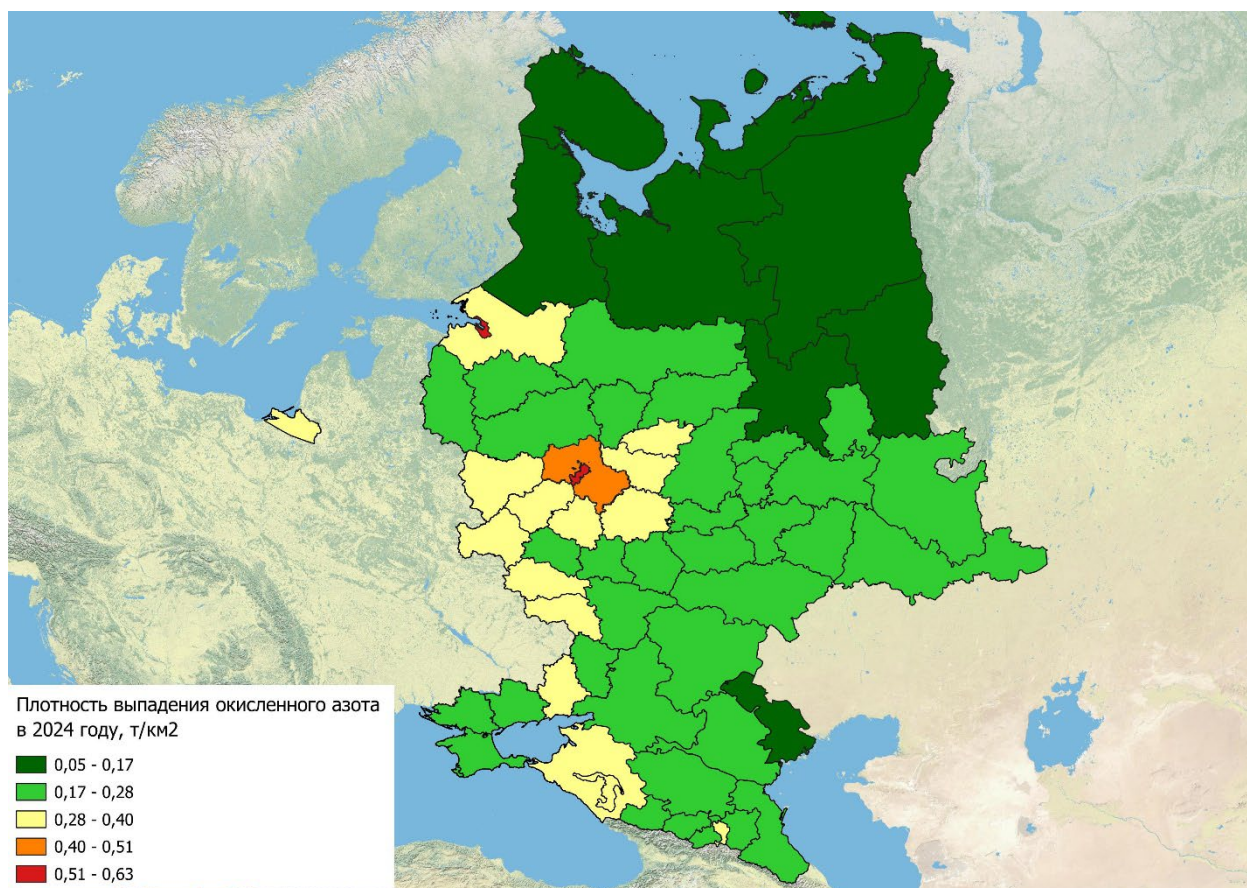


Рис.1.7.2. Плотность выпадения окисленного азота в 2024 году (т/км²).

На севере ЕЧР зафиксированы наименьшие значения плотности выпадения общего окисленного азота: в Ненецком автономном округе — 0,05 т/км², в Мурманской области — 0,07 т/км², в Архангельской области и Республике Коми — 0,11 и 0,10 т/км² соответственно, что обусловлено природными условиями и отдаленностью от крупных промышленных центров.

Умеренные значения плотности выпадений общего окисленного азота характерны в Центральном федеральном округе: Калужская область — 0,31 т/км², Белгородская область — 0,29 т/км², Рязанская область — 0,28 т/км².

Влияние трансграничного загрязнения особенно проявляется в отдельных регионах, например, в Северо-западном ФО, таких как Калининградская область, где трансграничный перенос загрязняющих веществ из стран Европы способствует увеличению плотности выпадения общего окисленного азота на уровнях, сравнимых с влиянием местных источников.

В 2024 году плотность выпадения общего восстановленного азота по результатам моделирования ЕМЕП характеризуется низкими значениями на территориях северной части Европейской России. В частности, для Ненецкого Автономного Округа выпадения составляют 0,02 т/км², для Архангельской области и Республики Коми — 0,05 т/км², а для Республики Карелия — 0,09 т/км² (рисунок 17.3).

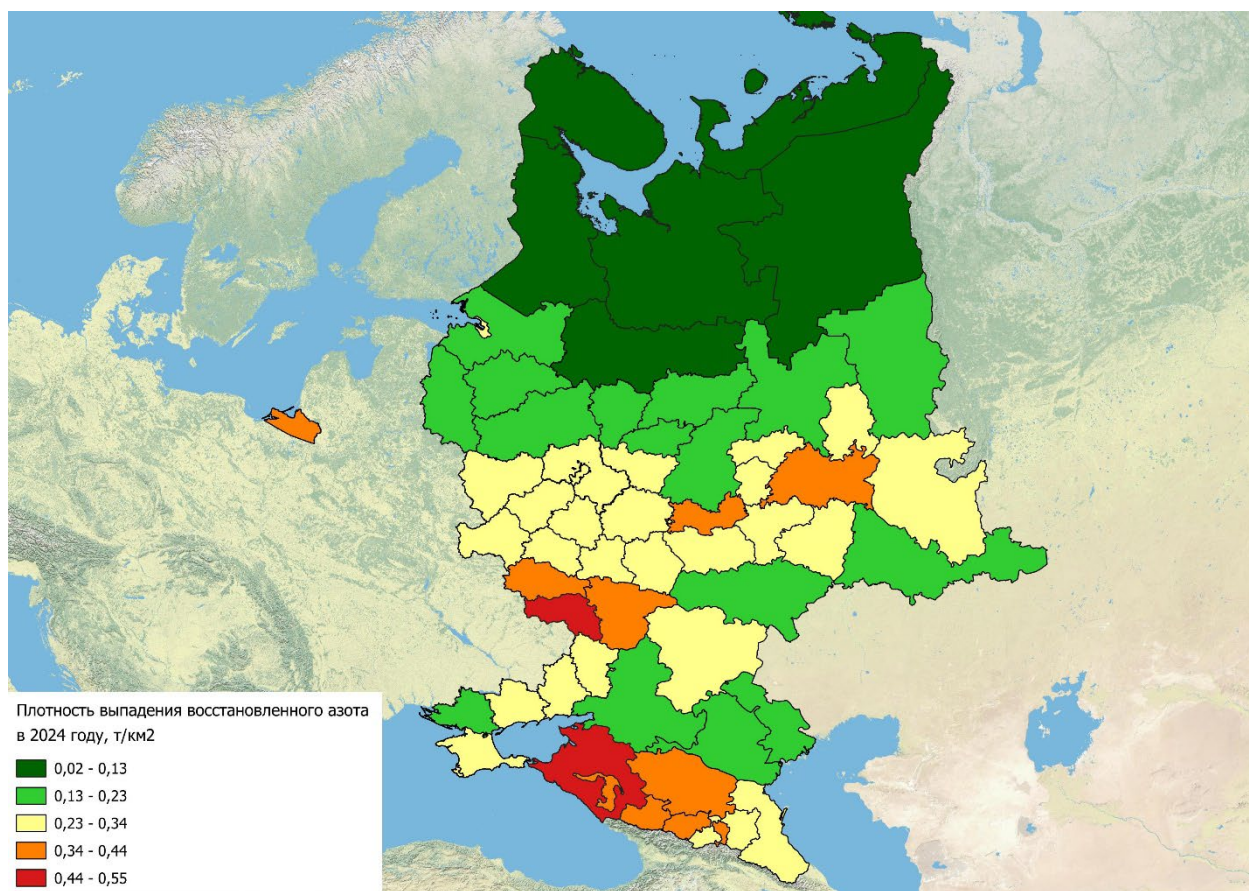


Рис.1.7.3 Плотность выпадения восстановленного азота в 2024 году (т/км²)

Низкая плотность выпадения азота в этих регионах может быть обусловлена как климатическими условиями (холодные температуры и суровые зимы, которые могут способствовать снижению активности микроорганизмов, ответственных за восстановление азота) для низких значений природной эмиссии, так и удалённость от крупных промышленных центров и районов интенсивного сельскохозяйственного использования земель. Кроме того, почвенные характеристики земель регионов, включая кислотность и содержание органических веществ, могут влиять на способность почвы удерживать и восстанавливать азот.

Умеренная плотность выпадения общего восстановленного азота характерна для нескольких регионов Приволжского федерального округа: Ульяновская и Пензенская области, Удмуртская Республика, - а также для отдельных территорий Северо-Кавказского федерального округа, включая Республику Северная Осетия – Алания и Республику Дагестан. Там средние значения плотности выпадения восстановленного азота варьируют в интервале от 0,24 до 0,32 т/км².

В Центральном федеральном округе в категорию регионов с умеренной плотностью выпадения общего восстановленного азота входят Брянская (0,32 т/км²), Тульская (0,30 т/км²), Тамбовская (0,29 т/км²) и Смоленская (0,27 т/км²) области. Территории Центрального федерального округа, расположенные севернее Москвы и Московской области, характеризуются низкой плотностью выпадения восстановленного азота – в Ярославской, Тверской области и Костромской областях выпадения составили от 0,15 до 0,18 т/км².

В некоторых регионах Приволжского федерального округа также отмечается низкая плотность выпадения восстановленного азота. В частности, в Кировской области этот показатель составляет 0,13 т/км².

В 2024 году на территории Москвы и Московской области, ранее характеризовавшихся высоким уровнем выпадения восстановленного азота, потоки снизились до умеренных значений, несмотря на значительное влияние автомобильного транспорта: плотность выпадения в Московской области составляет 0,28 т/км², а в Москве — 0,31 т/км².

Относительно высокая плотность выпадения восстановленного азота характерна в регионах, расположенных к югу от Москвы и Московской области: в Курской и Воронежской областях этот показатель составил 0,38 и 0,43 т/км² соответственно. В Ставропольском крае (Северо-Кавказский федеральный округ) плотность выпадения составляет 0,35 т/км², как и на территории Карачаево-Черкесской Республики, а в Республике Ингушетия достигает 0,36 т/км².

Максимальные значения плотности выпадения восстановленного азота наблюдаются в Краснодарском крае (0,46 т/км²) и Белгородской области (0,55 т/км²). Эти показатели могут быть результатом комплексного воздействия различных факторов, как антропогенного (выбросы промышленных предприятий, автотранспорта и в ходе сельскохозяйственной деятельности), так и

естественного происхождения. Последние, наряду с разложением используемых азотных удобрений включают воздействие значительных атмосферных осадков при высоких температурах на процессы денитрификации в почвах и водных экосистемах.

2. ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

2.1. Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности биосферных заповедников по данным сети станций комплексного фонового мониторинга

Мониторинг содержания загрязняющих веществ в депонирующих звеньях наземных экосистем – почвах и растениях позволяет выявлять уровни их накопления с учетом долговременной ретроспективы и способности к самоочищению. Наблюдения за текущими уровнями аккумуляции экотоксикантов, а также выявление многолетних трендов их изменения на территории РФ проводятся на станциях комплексного фонового мониторинга (СКФМ) государственной наблюдательной сети Росгидромета. Сеть СКФМ расположена на особо охраняемых природных территориях - биосферных заповедниках (БЗ) и национальных парках (НП). На международном уровне сеть СКФМ входит в систему глобального мониторинга окружающей среды «The Global Environment Monitoring System» ЮНЕП, а пункты проводимых наблюдений включены во Всемирную сеть биосферных резерватов (БР) ЮНЕСКО (за исключением Алтайского БЗ/Яйлю). Получаемые в подобных условиях данные отражают фоновую геохимическую обстановку на территории с учетом ее природных особенностей, глобального и регионального уровней антропогенной нагрузки.

В настоящее время сеть СКФМ развернута на следующих особо охраняемых природных территориях: НП Смоленское Поозерье, Приокско-Террасный БЗ, Воронежский БЗ, Кавказский БЗ, Волжско-Камский БЗ, Алтайский БЗ (Яйлю), Баргузинский БЗ, а также Мариинск-Уральская СКФМ, расположенная в лесном массиве, в водоохранной зоне на восточном берегу Ревдинского водохранилища (рис. 2.1.1). В совокупности они охватывают европейскую и азиатскую части России и расположены в разных почвенно-биоклиматических природных зонах, включая различные высотные пояса.

Учитывая консервативность загрязнения депонирующих сред определяемыми экотоксикантами (тяжелыми металлами и стойкими органическими загрязнителями) отбор проб почв и доминантных видов растений древесного, травянисто-кустарничкового и мохового ярусов осуществляется на постоянных пробных площадках СКФМ один раз в 3-5 лет. В 2024 г. наблюдения проводились на территориях наблюдений СКФМ Приокско-Террасного БЗ, Воронежского БЗ и Кавказского БЗ.

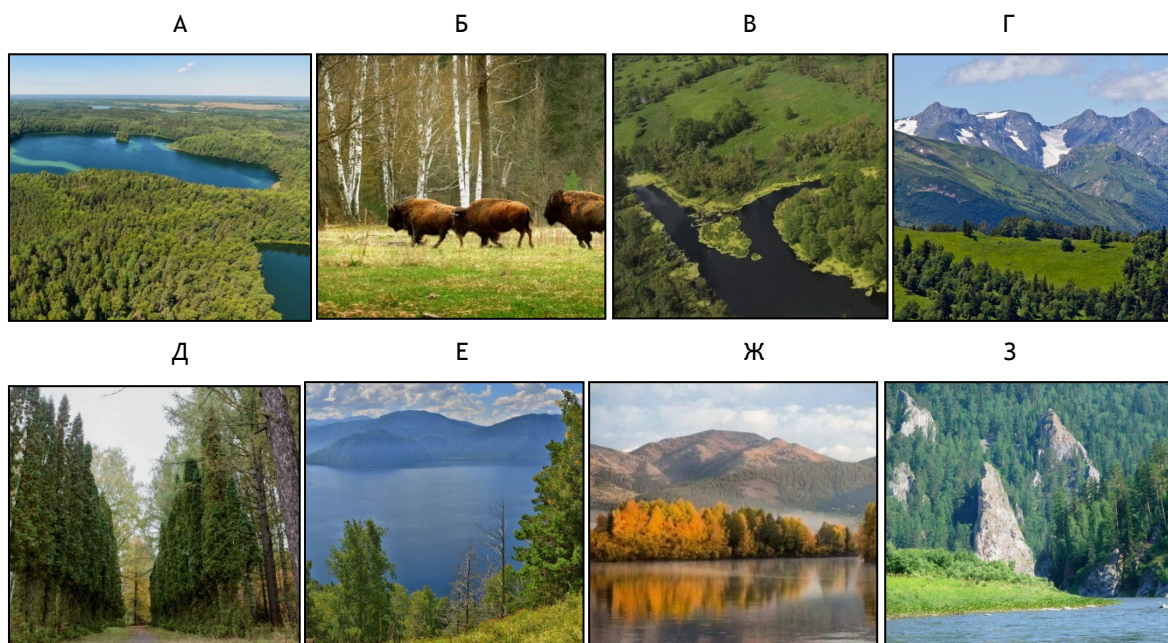


Рис. 2.1.1. *Ландшафты СКФМ: А – НП Смоленское Поозерье, Б – Приокско-Террасный БЗ, В – Воронежский БЗ, Г – Кавказский БЗ, Д – Волжско-Камский БЗ, Е – Алтайский БЗ (Яйлю), Ж – Баргузинский БЗ, З – Мариинск-Уральская СКФМ*

Согласно разработанной унифицированной схеме, смешанные средние образцы почв отбираются методом конверта по ГОСТ 17.4.4.02-2017: в травянистых экосистемах с общей площади выдела $10 \times 10 \text{ м}^2$ из верхнего минерального слоя профиля на глубину 10 см, а в лесных экосистемах – с общей площади выдела $25 \times 25 \text{ м}^2$ из горизонта лесной подстилки и верхнего 10-см слоя нижележащих минеральных горизонтов. Смешанные средние пробы доминантных видов растений или укусы общей биомассы растений травяного яруса отбираются по всей площади пробных площадей по фракциям: листва и хвоя деревьев, надземная часть травянисто-кустарничкового покрова, стебли и листья мхов.

Определяемыми показателями фонового загрязнения наземных экосистем в районах размещения СКФМ служат тяжелые металлы – кадмий, свинец, медь (Cd, Pb, Cu), а также стойкие органические вещества – бенз(а)пирен, ДДТ (по сумме изомеров) и ГХГЦ (по изомеру γ -ГХГЦ). При этом Cd, Pb и особо опасные пестициды внесены Всемирной организацией здравоохранения в список 10-ти самых опасных химических веществ, воздействующих на здоровье человека и санитарное состояние окружающей среды.

Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах

Фиксируемые величины содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв СКФМ определяются их концентрацией в литогенной матрице почв и в целом близки к среднемировым кларкам в верхней части континентальной земной коры (табл. 2.1.1). Исключения составляют только повышенные уровни содержания соединений меди и кадмия в дерново-подзолистых

почвах Мариинск-Уральской СКФМ, которые могут определяться наличием природной и антропогенной аномалий халькофильных элементов в покровных отложениях региона.

Таблица 2.1.1. Содержание тяжелых металлов и органических загрязнителей в почвах СКФМ за период 2019-2024 гг. (по последнему сроку наблюдения)

СКФМ	Опробованные почвы	Свинец	Кадмий	Медь	Бенз(а)пирен	сумма- ДДТ	γ- ГХГЦ
		мг/кг			мкг/кг		
<i>Центральный федеральный округ</i>							
Приокско-Террасный БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	10,5	0,63	7,0	0,6	4,5	0,3
Воронежский БЗ	Дерново-подзолистые песчаные	7,1	0,13	6,2	0,9	21,7	10,2
<i>Южный федеральный округ</i>							
Кавказский БЗ	Горные бурые лесные суглинистые	18,9	0,11	25,2	0,2	18,5	0,7
<i>Сибирский федеральный округ</i>							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Горно-луговые суглинистые	7,7	0,04	8,5	0,5	4,8	0,25
Мариинск-Уральская	Дерново-подзолистые суглинистые	18,6	0,27	86,5	–	–	–
<i>ОДК_{вал}*</i>		<i>32 / 65 / 130</i>	<i>0,5 / 1 / 2</i>	<i>33 / 66 / 132</i>	<i>20</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
<i>Кларк почв**</i>		<i>16 / 17 / 17</i>	<i>0,13 / 0,06 / 0,64</i>	<i>47 / 27 / 39</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>

* ОДК_{вал} по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» для песчаных и супесчаных почв / кислых почв суглинистого и глинистого состава с рН_{КС} < 5,5 / близких к нейтральным и нейтральным почвам суглинистого и глинистого состава с рН_{КС} > 5,5 соответственно
 ** Кларки элементов в верхней части континентальной земной коры по: А.П.Виноградову (1962) / Z.Hu and S.Gao (2008) / Н.А.Григорьеву (2009)

За последнее десятилетие наблюдений для величин валового содержания в почвах тяжелых металлов характерен широкий диапазон варьирования со следующей кратностью превышения максимальных концентраций над минимальными:

– для соединений свинца – в 3-5 раз для почв Кавказского, Волжско-Камского и Алтайского (Яйлю) БЗ; в 8 раз для почв Приокско-Террасного БЗ; в 24 раза для почв Воронежского БЗ;

– для соединений кадмия – в 3 раза для почв Кавказского БЗ; в 11-17 раз для почв Воронежского и Алтайского (Яйлю) БЗ; в 33 раза для почв Приокско-Террасного БЗ;

– для соединений меди – в 2-5 раз для почв Воронежского и Кавказского БЗ; в 9 раз для почв Алтайского (Яйлю) БЗ; в 109 раз для почв Приокско-Террасного БЗ.

С санитарно-гигиенической позиции текущие уровни содержания в почвах СКФМ соединений свинца, кадмия и меди не превышают нормативные величины ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) тяжелых металлов, что характеризует среднесуточный фоновый уровень загрязнения наземных экосистем России как экологически приемлемый.

Содержание в почвах СКФМ приоритетных загрязнителей органической природы также характеризует их экологическое состояние в основном как благополучное. Как правило, в поверхностных горизонтах почв выявляются лишь следовые количества загрязнителей,

поступивших в наземные экосистемы удаленных от источников загрязнения особо охраняемых природных территорий вследствие глобального рассеяния в атмосфере. Так, содержание в почвах СКФМ наиболее значимого химического канцерогена органической природы – бенз(а)пирена – на один-два порядка меньше, чем величина его ПДК. В отношении стойкого в природной среде пестицида ДДТ и его метаболитов в почвах СКФМ в последние годы регистрируются концентрации, которые в 3-5 раз ниже установленного ПДК. По результатам наблюдений за содержанием остаточных количеств инсектицида γ -гексахлорциклогексана (γ -ГХЦГ), который был официально запрещен к применению в России в 1990 г., в почвах СКФМ фиксируются значения, которые близки к пределу лабораторного определения и в 50 и более раз ниже установленных ПДК. Это позволяет говорить о фактическом отсутствии в настоящее время загрязнения почв фоновых территорий γ -ГХЦГ.

Фоновое содержание загрязняющих веществ в растительности

Накопление загрязняющих веществ в растениях может оказывать на них фитотоксические эффекты и отражаться на жизненном состоянии растительного покрова, снижая его средообразующие, средообеспечивающие и эстетические функции. За период наблюдений 2014-2024 гг., включая последний срок опробования, визуальное обследование состояния фитоценозов на СКФМ не выявило признаков нарушений роста и развития растений, которые могли бы отражать критические уровни загрязнения окружающей среды.

Содержание определяемых тяжелых металлов и органических загрязнителей в доминантных видах растений древесного, травянистого и мохового ярусов СКФМ в целом отвечает характеристикам природного фона и находится в более узких пределах колебаний, чем в почвах, что отражает буферную роль почвенной компоненты наземных экосистем в формировании миграционных потоков элементов (табл. 2.1.2).

По сравнению с кларковыми значениями содержания тяжелых металлов в растениях суши по А.П. Виноградову, в настоящее время заметно повышение средних уровней содержания свинца, меди и особенно кадмия в доминантных видах растений СКФМ. Средние концентрации кадмия максимальны в хвое сосны и листьях березы Воронежского БЗ, однако при этом превышены и в растениях всех остальных СКФМ, что может свидетельствовать о тренде расширения техногенного потока кадмия в период второй половины XX – начала XXI вв.

Загрязняющие вещества органической природы – бенз(а)пирен, ДДТ и его метаболиты, γ -ГХЦГ – накапливаются в растительной компоненте наземных экосистем СКФМ в незначительных количествах.

В целом, согласно результатам последнего опробования, для отдельных показателей фонового загрязнения компонентов растительного покрова СКФМ тяжелыми металлами

максимальные средние уровни содержания соединений свинца (10,0 мг/кг) были отмечены в моховом покрове Воронежского БЗ; кадмия (29,7 мг/кг) – в листьях березы Воронежского БЗ; меди (24,6 мг/кг) в разнотравье Кавказского БЗ. Наиболее высокие уровни содержания бенз/а/пирена (0,5-0,6 мкг/кг) были выявлены в разнотравье напочвенного покрова Приокско-Террасного и Кавказского БЗ; остаточных количеств ДДТ и его метаболитов (122 мкг/кг) – в разнотравье Приокско-Террасного БЗ.

Таблица 2.1.2. Средние концентрации тяжелых металлов и органических загрязнителей в растительности СКФМ в период 2019-2024 гг. (по последнему сроку наблюдения, на единицу абсолютно сухой массы растений)

Станция КФМ	Проба	Свинец	Кадмий	Медь	Бенз(а)пирен	сумма- ДДТ	γ-ГХГЦ
		мг/кг			мкг/кг		
<i>Центральный федеральный округ</i>							
Приокско-Террасный БЗ	Береза, листья	7,3	0,46	2,8	0,36	3,7	1,7
	Разнотравье	1,0	0,32	5,0	0,58	54,4	2,4
Воронежский БЗ	Сосна, хвоя	6,2	3,00	0,4	0,40	37,3	2,4
	Береза, листья	2,1	4,80	6,0			
	Черника, листья	2,2	0,48	3,1			
	Осока	1,8	1,10	2,5			
	Разнотравье	3,0	1,12	2,4			
	Мох	10,3	0,90	-			
<i>Южный федеральный округ</i>							
Кавказский БЗ	Разнотравье	1,1	0,92	24,6	0,54	24,8	0,3
<i>Сибирский федеральный округ</i>							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Разнотравье	0,8	1,50	4,0			
Кларк растений		0,1	0,01	2	-	-	-

* - нет данных

** кларки элементов в растениях по А.П. Виноградову (1962)

2.2. Содержание загрязняющих веществ в почвах фоновых участков промышленных регионов по результатам наблюдательной сети Росгидромета

Для сравнения уровней загрязнения почв токсикантами промышленного происхождения (ТПП) вблизи источников промышленных выбросов с фоновыми массовыми долями соответствующих химических веществ концентрациями проводится отбор проб почв на фоновых территориях, прилегающих к техногенным. Фоновая площадка для вещества в почвах обследуемого города – это территория в районе расположения города с фоновой концентрацией вещества в почвах, аналогичных почвам города.

Ежегодно летом отбирается от 1 до 10 объединённых проб почв на территории фоновых площадок обследуемых городов. В почвах определяются массовые доли тяжелых металлов (ТМ), нефти и нефтепродуктов (НП), фтора, нитратов, сульфатов, бенз(а)пирена (БП) и др.

В 2024 г. наблюдения за содержанием в почвах фоновых участков ТМ, НП, фтора, нитратов, сульфатов, БП и ПХБ проводились на территориях Центрального федерального округа (Московской области), Дальневосточного федерального округа (Приморского края), Сибирского федерального округа (Иркутской, Кемеровской, Новосибирской, Омской и Томской областей), Уральского федерального округа (Свердловской области), Приволжского федерального округа (Республики: Башкортостан, Татарстан, Чувашская, Марий Эл, Нижегородской, Кировской и Самарской областей).

В таблице 2.2.1 представлены значения массовых долей нитратов, сульфатов и водорастворимого фтора в почвах фоновых площадок на территории Новосибирской, Кемеровской, Томской, Иркутской, Самарской и Свердловской областей.

Данные, представленные в табл. 2.2.1, демонстрируют значительные колебания содержания в почвах нитратов, сульфатов и фтора за рассматриваемый период. Следует отметить, что в 2024 г. на территории фоновой площадки с. Ярское Томской области содержание нитратов в почве (6,6 мг/кг) снизилось в 9 раз по сравнению с предыдущим годом наблюдений (61,7 мг/кг). Фоновая концентрация водорастворимых соединений фтора в почве (0,9 мг/кг) на территории д. Калинкино Кемеровской области снизилась в 2 раза по сравнению с данными, полученными в 2023 г. (2,0 мг/кг). В 2024 г. было выявлено высокое содержание сульфатов в почвах фоновых участков на территории Иркутской области в районе г. Ангарска (в 2024 г. – 187,1 мг/кг, в 2019 г. – 72,9 мг/кг (в суглинистых почвах)) и г. Усолъе-Сибирского (в 2024 г. – 233,8 мг/кг, в 2019 г. – 166 мг/кг (в суглинистых почвах)). В целом, несмотря на варьирование содержания вышеуказанных химических веществ, превышение допустимых гигиеническими нормативами значений выявляется редко.

Таблица 2.2.1. Массовые доли нитратов, сульфатов и водорастворимого фтора, мг/кг, в почвах фоновых площадок на территории Российской Федерации

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Нитраты	Сульфаты	Фтор
<i>Сибирский федеральный округ</i>					
Западная Сибирь г. Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995-2024	<u>2,0–36,5</u> 1,46	–	<u>0,2–4,1</u> 0,7
г. Кемерово, д. Калинкино ЮЮЗ 55 км от ГРЭС	Выщелоченный чернозём	1995-2024	<u>0,41–87,5</u> 23,6	–	<u>0,4–3,5</u> 0,9
г. Томск, с. Ярское Ю 43 км от ГРЭС-2	Подзолистые	2001-2024	<u>1,5–156,7</u> 6,6	–	<u>0,3–3,8</u> 0,7
п. Ключи Ю 22 км от г. Новокузнецка	Подзолистые	2023, 2024	<u>7,9</u> 5,9	–	<u>2,5</u> 1,9
Иркутская область г. Ангарск	серые лесные	2002, 2010, 2019, 2024	–	<u>39–640</u> 187,1	<u>0,6–6,4</u> 0,6
г. Усолье-Сибирское				<u>45–933</u> 233,8	<u>1,1–7,9</u> 1,1
<i>Приволжский федеральный округ</i>					
Самарская область Волжский район НПП «Самарская Лука» З 100 км от г. Самара	Чернозёмы	2006-2024	<u>1-47</u> 1,9	<u>24-216</u> 46,8*	<u>0,2-3,3</u> 1,1
Волжский район АГМС АГЛОС ЮЗ 20 км от г. Самара		2006-2024	<u>0,7-36</u> 6,4	<u>16-149</u> 73,1*	<u>0,6-4,1</u> 1,4
<i>Уральский федеральный округ</i>					
Свердловская область п. Мариинск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Подзолистые	1999-2024	<u>0,2-13,2</u> <2,8	–	–
<i>Дальневосточный федеральный округ</i>					
Приморский край г. Владивосток	Бурые лесные, лугово-бурые оподзоленные	1998, 2004, 2009, 2015, 2024	–	<u>8,1–144,0</u> 144,0	1,3–7,1**

Примечания: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2024 г.; * – в пересчете на серу; ** – данные наблюдений за 1998–2009 гг.

– – не определялись

Результаты многолетних наблюдений за фоновыми валовыми и/или кислоторастворимыми (сравнимыми с валовыми) формами массовых долей кобальта, марганца, никеля, ртути в почвах отдельных регионов РФ представлены в табл. 2.2.2. Массовые доли кислоторастворимых форм кадмия, меди, свинца, цинка и НП в почвах фоновых площадок на территории отдельных регионов Российской Федерации представлены в табл. 2.2.3.

На территории Приморского края в 2024 г. содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве определялось на фоновой площадке вблизи г. Владивостока. Концентрация подвижных форм свинца составила 1,7 мг/кг, кадмия – 0,04 мг/кг, никеля – 0,09 мг/кг, цинка – 1,7 мг/кг, марганца – 42,6 мг/кг, меди – 0,09 мг/кг.

Данные многолетних наблюдений демонстрируют, что за весь период наблюдений превышение установленных нормативов содержания в почвах токсикантов промышленного происхождения выявляется редко. При этом наблюдавшиеся массовые доли металлов в почве в различные годы и в различных точках отбора могут различаться в несколько раз. В качестве

примера на рис. 2.2.1 представлены результаты обследований, проведенных с 2001 по 2024 гг., в районе д. Калинкино Кемеровской области на площадке многолетних фоновых наблюдений.

Таблица 2.2.2. Массовые доли валовых (или кислоторастворимых) форм кобальта, марганца, никеля и ртути, мг/кг, в почвах фоновых площадок на территории Российской Федерации

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Co	Mn	Ni	Hg (Cr)
<i>Центральный федеральный округ</i>						
Московская область Коломенский городской округ	Дерново- подзолистые	2006, 2008, 2024	<u>8,0-10,0</u> 7,6	<u>750,0-800,0</u> 567,3	<u>12,0-18,0</u> 11,4	<u>(30,0-40,0)</u> (13,9)
<i>Сибирский федеральный округ</i>						
Иркутская область г. Ангарск	серые лесные	2002, 2010, 2019, 2024	<u>6,9-59,1</u> 59,1	<u>173,0-3046,0</u> 3046,0	<u>3,0-72,5</u> 72,5	<u>0,01-0,05</u> 0,05
г. Усолье-Сибирское			<u>9,8-50,2</u> 50,2	<u>54,0-3263,9</u> 3263,9	<u>4,6-111,9</u> 111,9	<u>0,03-0,06</u> 0,06
г. Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	2017-2024	<u>0,3-12,0</u> 6,7	<u>298,5-712,0</u> 525,3	<u>8,1-31,4</u> 15,5	<u>(17,1-34,6)</u> (16,9)
г. Томск, с. Ярское	Подзолистые	2017-2024	<u>7,7-11,4</u> 11,4	<u>298,5-821,7</u> 738,5	<u>18,8-27,6</u> 27,6	<u>(17,1-37,3)</u> (32,9)
<i>Дальневосточный федеральный округ</i>						
Приморский край г. Владивосток	Бурые лесные, лугово-бурые оподзоленные	1998, 2004, 2009, 2015, 2024	<u>12,0-15,0</u> –	<u>750,0-1100,0</u> 321	<u>10,9-18,0</u> 10,9	<u>0,03-0,04*</u> 0,03
<i>Уральский федеральный округ</i>						
Свердловская область п. Мариинск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Дерново- подзолистые	1999-2024	<u>4,0-44,0</u> 20,0	<u>77,0-3110,0</u> 726,0	<u>1,5-53,0</u> 33,0	<u>0,01-0,20</u> –
<i>Приволжский федеральный округ</i>						
Нижегородская область г. Арзамас	Дерново- подзолистые	2012, 2013, 2014, 2022, 2023, 2024	<u><2,2-11,0</u> 9,0	<u>172,0-520,0</u> 235,0	<u>18,0-25,0</u> 21,0	<u><0,02-0,04</u> 0,03
Самарская область НПП «Самарская Лука» 3 100 км от г. Самара	Черноземы	2006-2024	–	<u>43,0-515,0</u> 399,1	<u>11,0-87,0</u> 18,3	–
АГМС п. Аглос ЮЗ 20 км от г. Самара			–	<u>175,0-778,0</u> 165,1	<u>9,0-103,0</u> 33,2	–
Республика Башкортостан г. Белебей	Черноземы, серые лесные	2007, 2014, 2024	–	–	<u>24,0-93,0</u> 29,0	–
Республика Марий Эл г. Йошкар-Ола	Выщелоченные черноземы, подзолистые	2013, 2014, 2015, 2016, 2024	<u><1,0-<10</u> <6,0	<u>85,0-892,0</u> 230,0	<u><11-20,0</u> 17,0	<u><0,02-0,02</u> <0,02
Республика Татарстан г. Казань СЗ 20 км	Дерново- подзолистые	2008-2024	2-8**	<u>250,0-613,0</u> 462,0	<u>2,0-36,0</u> 3,8	<u>0,01-0,04</u> 0,02
г. Нижнекамск г. Набережные Челны СВ, Национальный парк «Нижняя Кама»			3-9**	<u>223,0-549,0</u> 491,0	<u>12,0-51,0</u> 23,2	<u>0,01-0,04</u> 0,05

Примечания: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2024 г.; * – данные наблюдений за 2015, 2024 гг.;

** – данные наблюдений за период 2008–2015 гг.; – – не определялись

Таблица 2.2.3. Массовые доли валовых (или кислоторастворимых) форм кадмия, меди, свинца, цинка и НР, мг/кг, в почвах фоновых площадок на территории Российской Федерации

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Cd	Cu	Pb	Zn	НР
<i>Центральный федеральный округ</i>							
Московская область Коломенский городской округ	Дерново-подзолистые	2006, 2008, 2024	<u>0,1–0,6</u> 0,6	<u>8,0–12,0</u> 8,9	<u>16–19</u> 8,5	<u>26–30</u> 30,3	–
<i>Сибирский федеральный округ</i>							
Западная Сибирь г. Кемерово д. Калинкино	Выщелоченный чернозём	1995–2024	<u><0,1–6,3</u> 0,7	<u>4–41</u> 20,3	<u>5–31</u> 11,5	<u>18–169</u> 50,4	<u>5,6–110</u> 61,0
г. Новокузнецк пос. Ключи	Подзолистые	2022, 2023, 2024	<u>0,3–0,4</u> 0,4	<u>16–21</u> 16,3	<u>9,2–16,2</u> 9,2	<u>43–58</u> 42,8	<u>19–44*</u> 44,1
г. Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995–2024	<u><0,1–3,0</u> 0,3	<u>3,0–30,0</u> 13,7	<u>1,6–40,0</u> 5,7	<u>5–129</u> 30,8	<u>9–264</u> 25,0
г. Томск, с. Ярское	Подзолистые	2001–2024	<u><0,1–0,9</u> 0,5	<u>2–21,3</u> 15,0	<u>4,1–27</u> 7,5	<u>22–200</u> 60,8	<u>20–296</u> 82,0
<i>Дальневосточный федеральный округ</i>							
Приморский край г. Владивосток	Бурые лесные, лугово-бурые оподзоленные	1998, 2004, 2009, 2015, 2024	<u>0,03–0,6</u> 0,03	<u>9,4–16,0</u> 9,6	<u>14–29</u> 14,4	<u>47,6–70</u> 47,6	–
<i>Уральский федеральный округ</i>							
Свердловская область п. Мариинск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	1999–2024	<u>0,3–2,2</u> 0,1	<u>15–281</u> 80	<u>7,0–137</u> 15	<u>44–213</u> 66	–
<i>Приволжский федеральный округ</i>							
Нижегородская область г. Арзамас	Дерново-подзолистые	2012, 2013, 2014, 2022, 2023, 2024	<u><0,5–4,0</u> <0,5	<u>12–29</u> 12	<u><5–20</u> <5	<u>23–77</u> 23	<u>25–111</u> <30
Самарская область НПП «Самарская Лука» АГМС АГЛОС ЮЗ 20 км от г. Самара	Черноземы	2006–2024	<u>0,2–2,8</u> 1,6 <u>0,1–2,5</u> 1,7	<u>7–118</u> 82,3 <u>8–92,2</u> 92,2	<u>8–88</u> 12,0 <u>1–33,5</u> 33,5	<u>35–219</u> 172,9 <u>31–271</u> 158,7	<u>9–175</u> 32 <u>2,4–69,2</u> 4,0
Республика Башкортостан г. Белебей	Черноземы, серые лесные	2007, 2014, 2024	–	<u>5–45</u> 5	<u>16–30</u> 16	<u>18–51</u> 18	–
Республика Марий Эл г. Йошкар-Ола	Выщелоченные черноземы, подзолистые	2013, 2014, 2015, 2016, 2024	<u><0,5–</u> <u><4,0</u> <0,5	<u><6–44</u> 9,0	<u><5–32</u> <5	<u>23–32</u> 32	<u>34–157</u> 86
Республика Татарстан г. Казань СЗ 20 км	Дерново-подзолистые	2008–2024	<u>0,1–0,5</u> 0,2	<u>1,2–11,0</u> 2,7	<u>3,0–18,0</u> 12,7	<u>9,3–180</u> 19,6	<u>2,3–96</u> 25,5
г. Нижнекамск г. Набережные Челны СВ, Национальный парк «Нижняя Кама»		2008–2024	<u>0,1–1,1</u> 0,4	<u>5,0–28,8</u> 8,1	<u>2,3–22,0</u> 5,9	<u>17–89,6</u> 25,5	<u>15–150</u> 40,5

Примечание: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2024 г. * – данные наблюдений за 2023, 2024 гг.;

В 2024 г. на территории *Центрального федерального округа* обследовались почвы Коломенского городского округа Московской области. Содержание валовых форм тяжелых металлов в почвах фоновой площадки не превышало допустимых нормативами значений. По сравнению с результатами предыдущего обследования, проведенного в 2008 г., наблюдается снижение концентрации свинца в 2,2 раза, хрома – в 3 раза. Фоновое содержание кадмия увеличилось в 2,8 раза по сравнению с результатами мониторинга 2008 г. Следует отметить, что

за весь период наблюдений 2006-2024 гг. концентрация кадмия на фоновой площадке г.о. Коломна увеличилась с 0,1 мг/кг в 2006 г. до 0,6 мг/кг в 2024 г. Массовые доли цинка, меди, кобальта, никеля и марганца в почве сохранились на уровне значений 2008 г.

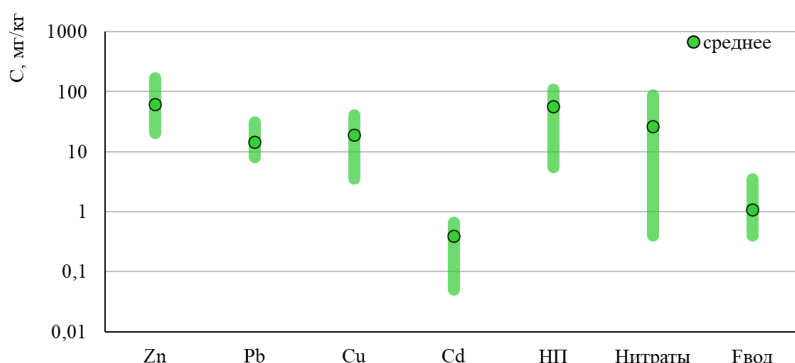


Рис. 2.2.1. Диапазон варьирования и среднее содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов, нефтепродуктов, нитратов и водорастворимых соединений фтора в почве фоновой площадки д. Калинкино (фон для г. Кемерово) по данным наблюдений 2001-2024 гг.

В Дальневосточном федеральном округе содержание токсикантов промышленного происхождения определялось в почве фоновой площадки вблизи г. Владивостока Приморского края. Результаты наблюдений 2024 г. показали, что фоновые массовые доли валовых форм всех определяемых тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Mn) для почв г. Владивостока снизились или сохранились на уровне значений 2015 г. (рис. 2.2.2). Фоновое содержание БП составило 0,007 мг/кг (0,3 ПДК).

В Сибирском федеральном округе проводятся многолетние наблюдения за содержанием ТПП в почвах фоновых площадок в районах расположения пунктов многолетних наблюдений городов Кемерово, Новокузнецк, Новосибирск и Томск. Следует отметить, что превышений допустимых гигиеническими нормативами значений в последние годы наблюдений не было выявлено.

На рис. 2.2.3 представлена многолетняя динамика изменений содержания кислоторастворимых форм ТМ в почвах фоновой площадки в районе с. Прокудское (фон для г. Новосибирска). Данные, представленные на рис. 2.47, показывают, что в период 2019-2024 гг. наблюдается колебание значений фоновых массовых долей цинка, свинца и никеля на обследуемом участке. С 2018 г. на фоновых площадках с. Прокудское (Новосибирская область) и с. Ярское (Томская область) проводятся наблюдения за содержанием в почве мышьяка. За весь период обследований концентрация мышьяка в почве с. Прокудское изменялась в диапазоне 2,6–8,6 мг/кг, с. Ярское – 3,3–7,1 мг/кг. Содержание НП в почвах с. Прокудское за последние пять лет изменялось в диапазоне 25,0-193,0 мг/кг. Среднее значение концентрации нефтепродуктов в почвах фоновых участков Омской области по результатам проведенных

обследований составило 155 мг/кг.

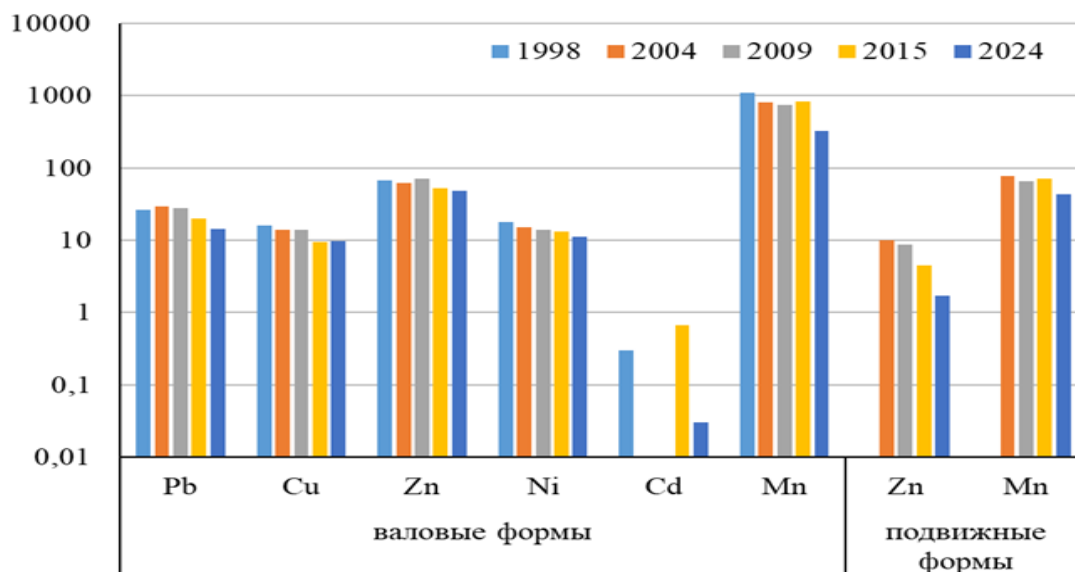


Рис. 2.2.2 Средние значения содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почве фонового участка г. Владивостока по данным наблюдений 1998-2024 гг.

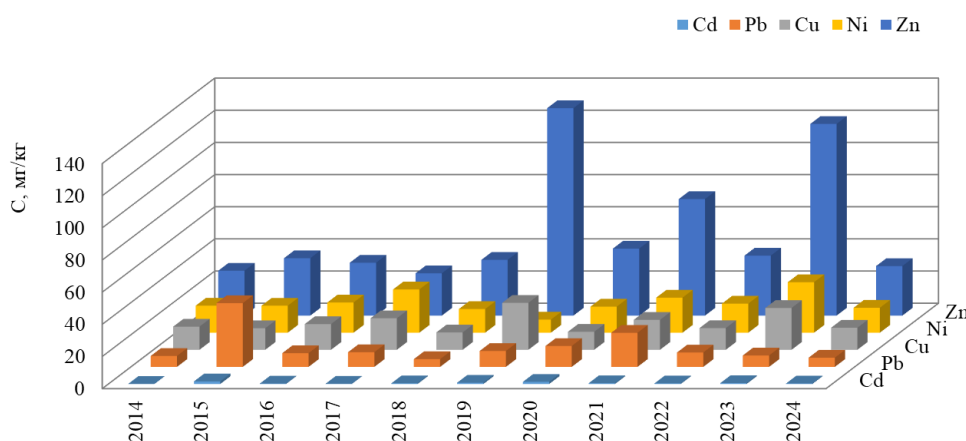


Рис. 2.2.3. Средние значения содержания кислоторастворимых форм Cd, Pb, Cu, Ni, Zn в почве фонового участка с. Прокудское (фон для г. Новосибирска) по данным наблюдений 2014-2024 гг.

На территории Уральского федерального округа с 1999 г. ежегодно проводятся наблюдения за содержанием нитратов, а также кислоторастворимых и подвижных форм ТМ в почве фоновой площадки в районе п. Мариинск (Свердловская область). Несмотря на то, что значения фоновых массовых долей в разные годы наблюдений отличаются иногда в несколько раз, превышение нормативов фиксируется редко.

В Приволжском федеральном округе в 2024 г. были продолжены наблюдения за содержанием ТПП в почвах фоновых участков на территории Самарской области – НПП «Самарская Лука» и АГМС АГЛОС. Средние значения концентраций ТПП не превышали допустимых уровней.

На территории Республики Башкортостан в 2024 г. обследовались фоновые участки в районе городов Белебей и Давлеканово. По сравнению с результатами наблюдений 2014 г., значения фоновых массовых долей свинца и цинка для почв г. Белебей снизились в 2 раза, меди – в 5 раз. В почве фонового участка г. Давлеканово содержание никеля, свинца, меди и цинка снизилось в 3–3,5 раза по сравнению с результатами предыдущего обследования в 2014 г.

Многолетние наблюдения за содержанием НП и кислоторастворимых форм ТМ проводятся на фоновых площадках городов Казани, Нижнекамска и Набережных Челнов. Средние значения концентраций ТПП за период 2013-2024 гг. изменялись незначительно.

В большинстве регионов значения фоновых массовых долей ТПП в почвах варьируют в определённых пределах, зависящих от природной неоднородности почв, сохраняясь в среднем за период наблюдений примерно на одном уровне. Отдельные высокие значения фоновых концентраций химических веществ в почвах выявляются редко. За многолетний период обследований превышение предельно допустимых и ориентировочно допустимых уровней содержания ТПП в почвах фоновых площадок наблюдается в единичных случаях. Анализ значений фоновых массовых долей ТПП в почвах Российской Федерации позволяет оценить состояние почв фоновых площадок как благополучное. Статистически достоверного накопления ТПП в почвах фоновых площадок за период наблюдений не было отмечено.

2.3. Кумулятивное воздействие изменяющихся климатических факторов на приросты деревьев в различных типах местообитаний бореальных сосняков

Оценка фонового состояния экосистем базируется не только на мониторинге за факторами воздействия на природные территории и откликов биоты, зафиксированных и опубликованных в научной литературе по результатам интенсивных исследований на модельных участках или в совокупности с полуэмпирическим моделированием, но и определении характеристик и изменчивости ключевых параметров основных или индикаторных видов самих экосистем. Последнее потенциально предоставляет интегральные характеристики результатов воздействия комплекса внешних факторов, однако сопряжено с необходимостью учета индивидуальных особенностей функционирования биоиндикаторов, а также предпочтительностью выделения ведущих внешних воздействий. Сравнительные исследования развития одних и тех же видов в разных условиях их произрастания позволяет провести такой анализ. Для получения возможности распространения мониторинга на значительные территории с использованием наблюдений за широко распространенными видами лесной зоны был проведен анализ чувствительности рядов линейных приростов сосны обыкновенной (на примерах модельных древостоев) к осадкам и температуре вегетационных сезонов в зависимости от условий произрастания.

Предыдущие исследования показали, что чувствительность приростов деревьев к воздействиям параметров климатической системы (как характерного параметра для оценки) неодинакова в разных условиях произрастания. В местообитаниях с близкими к оптимальным условиями формируются так называемые «благодушные» дендрохронологии, в которых климатический сигнал не может быть достоверно выделен из «белого шума» – совокупности определяемых нормой реакции вида на внешние воздействия. В зоне экологического оптимума обеспеченность организмов ресурсами позволяет (до известной степени) сглаживать эффекты действия факторов среды, и подобные ряды приростов являются менее информативными при выявлении их связей с климатическими факторами. В то же время, наиболее информативные ряды значений радиальных и линейных приростов формируются у деревьев на краях экологической ниши, в биотопах, жестко лимитированных по каким-либо ресурсам, т.е. на северных и южных границах ареала породы, а также во влажных и сухих местообитаниях.

Вследствие различия степени информативности индексов линейных приростов при исследовании откликов популяций сосны на климатические воздействия был проведен анализ взаимосвязей во всех типах исследуемых бореальных сосняков. Целью исследования являлись:

– выявление типов леса и местообитаний, в которых формируются информативные ряды индексов приростов при оценке отклика на кумулятивное воздействие климатических факторов;

– предложение и апробация метода оценки климатических сигналов в неинформативных («благородных») хронологиях (рядов данных).

Были исследованы популяции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L., 1753) (класс *Pinopsida*, порядок *Pinales*, семейство *Pinaceae*) на трех особо охраняемых природных территориях (ООПТ), расположенных в меридиональном направлении (юг-север) ЕЧР (таб. 2.3.1):

– Керженский государственный природный заповедник (далее – Керженский заповедник, 56°37' N, 44°16' E), в подзоне южной тайги, расположен в Южном Заволжье, относительно близко к южной границе ареала сосны;

– Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник (далее – ПТБЗ, 54°54' N, 37°34' E), в подзоне южной тайги в Московской области, в центре ареала сосны;

– комплексный заказник регионального значения «Полярный круг» (далее – заказник «Полярный круг», 66°34' N, 33°08' E), на побережье Белого моря, на северной границе ареала сосны.

Таблица 2.3.1. Количество объектов измерений (деревьев) линейных приростов для проведения исследования

ООПТ исследований	Местообитания		
	Свежие	Сухие	Влажные
Керженский заповедник	170	50	110
Приокско-Террасный БЗ	215	-	-
Заказник «Полярный круг»	24	36	15

Все рассматриваемые экосистемы относятся к биому тайги. Многообразие местообитаний сосны и соответствующих им типов леса (как северной, так южной тайги) систематизируется в соответствии с лесной типологией В.Н. Сукачева. Пробные площади были заложены маршрутным методом в разных типах местообитаний исследуемых ООПТ – в свежих, сухих и влажных. Группа сосняков сфагновых (*Pineta sylvestris fruticuloso-sphagnosa*) характерна для влажных местообитаний; группа сосняков зеленомошных (*Pineta fruticuloso-hylocomiosa*) – для свежих; группа сосняков лишайниковых (*Pineta sylvestris hylocomioso-cladinosa*) – для сухих.

Объектом измерения служили междуузлия (годовые приросты в высоту) подроста, молодняка и приспевающих деревьев *P. sylvestris*. Использование невысоких деревьев позволяет проводить массовые не повреждающие измерения линейных приростов стволов/стволиков. Маршрутным методом были заложены пробные площади в различных типах леса, в пределах каждой из которых измерялось по 5 одновозрастных деревьев без видимых дефектов. На каждом дереве измерялись междуузлия главной оси, начиная с верхнего и до последнего уверенно выделяемого по направлению к шейке корня. Ряды приростов индексировались стандартным методом: значение прироста за каждый год делилось на значение точечной аппроксимирующей функции за этот год. С биологической точки зрения индексирование позволяет убрать неравномерность возрастного хода линейного прироста, тем самым давая возможность проводить сравнение между отдельными экземплярами и обобщать информацию по всем деревьям. С математической

точки зрения получаемые индексы дают агрегированную информацию об изменении, нивелируя информационный шум и отсекая множество ложных сигналов. При этом, к сожалению, при их применении теряется некоторая информация как по объему выборки, так и о разнообразии.

Полученные ряды охватывали следующие периоды:

– для заказника «Полярный круг» в свежем биотопе за 1987-2021 гг., в сухом биотопе – за 1996-2021 гг., во влажном – за 1994-2021 гг.;

– для Керженского заповедника в свежем биотопе за 1984-2001 гг., в сухом биотопе – за 1984-2001 гг., во влажном – за 1982-2001 гг.;

– для Приокско-Тerrasного заповедника в свежем биотопе за 1987-1998 гг.

Также был использован и иной подход при анализе параметров роста видов рода *Pinus*, который оперирует с абсолютными величинами размеров междоузлий. Он явился дополнением для уточнения характера изучаемых связей (такая дополнительная обработка может дать корректные результаты, так как ряды линейных приростов в целом короткие и тем самым нет сильного влияния возрастной компоненты).

Значения метеопараметров за соответствующие периоды получены из банка данных с сайта ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»; длина рядов метеоданных соответствует длине периодов наблюдений за линейным и радиальным приростом.

Оценка воздействия климатических факторов проводилась с применением корреляционного анализа как для самих линейных приростов, так и для их индексов. Статистические выводы приведены для уровня значимости $\alpha = 0.05$. Исходя из проведенной ранее проверки на имеющихся больших массивах наблюдений заказника «Полярный круг» на соответствие нормальному закону распределения показателей радиальных приростов по критерию согласия Пирсона, этот коэффициент корреляции был использован в предположении, что ряды линейных приростов для всех ООПТ, так же, как и их индексы, имеют нормальное распределение. Результаты были экстраполированы на линейные приросты модельных древостоев всех ООПТ, что представляется корректным для разных типов леса и различных географических локаций, поскольку исследуется один и тот же вид – сосна обыкновенная (*P. sylvestris*).

Для выявления значимого числа совпадений годовых периодов синхронности хода индексов приростов и метеопараметров применялся G-критерий знаков: если число нетипичных для рядов совпадений направлений меньше критического, то принимается гипотеза, что преобладание типичных направлений для сравниваемых рядов не является случайным.

Было отмечено, что в индексе линейного прироста может быть заложена информация как о текущем приросте дерева, так и о приростах двух предыдущих лет. Поэтому анализ отклика на воздействие климатических факторов возможно рассматривать как на текущем периоде, так и со сдвигом на один и два года в прошлое. При этом, на основании ранее проведенного исследования,

выдвигается гипотеза, что самый сильный отклик на кумулятивное воздействие возможен в лимитированных по доступности ресурсов (осадков и температуры) условиях произрастания сосны, т.е. на краях ареала породы и её экологической ниши.

Заказник «Полярный круг».

В табл. 2.3.2 представлены корреляции средних индексов приростов со средними температурами и суммарными осадками различных вегетационных сезонов по всем типам биотопов. Для анализа выбраны периоды, соответствующие этапам развития насаждений: апрель-май текущего года – фенофаза начала роста междуузлий, июнь-июль текущего года – фенофаза окончания роста междуузлий, август-сентябрь прошлого года – фенофаза формирования почки возобновления. Период, охватывающий текущий год, показывает интегрированное по времени воздействие метеофакторов на насаждения.

Таблица 2.3.2 Корреляции индексов линейных приростов сосны обыкновенной в заказнике «Полярный круг» с различными климатическими факторами в свежем, сухом и влажном биотопах

климатический фактор		свежий биотоп	сухой биотоп	влажный биотоп
сумма осадков	сумма осадков за текущий год	0,14	-0,04	0,18
	за апрель-май текущего года	-0,06	0,02	-0,19
	за июнь-июль текущего года	-0,15	-0,31	-0,01
	за август-сентябрь прошлого года	0,22	0,39	0,32
средняя температура	средняя температура за текущий год	-0,14	-0,06	-0,13
	за апрель-май текущего года	-0,37	-0,21	-0,46
	за июнь-июль текущего года	-0,32	-0,25	-0,34
	за август-сентябрь прошлого года	0,23	0,11	0,03

В соответствии с полученными значениями выявляют следующие связи:

- в сухом биотопе отмечаются значимые положительные корреляции с суммами осадков за август-сентябрь предшествующего года, что демонстрирует влияние недостатка ресурса осадков (и, следовательно, доступной корневым системам влаги) в течение фенофазы формирования почек возобновления;

- в свежем биотопе выявлены значимые отрицательные связи с температурами за апрель-май и июнь-июль текущего года, что свидетельствует о возможном дефиците влаги в течение фенофазы роста междуузлий;

- во влажном биотопе наблюдаются значимые отрицательные корреляции с температурами за апрель-май и июнь-июль текущего года и близкая к значимому положительная корреляция с суммами осадков за август-сентябрь предшествующего года, что объясняется недостатком влаги в сфагновых местообитаниях в течение фенофазы роста междуузлий из-за высыхания верхнего слоя субстрата, вызванного повышением температуры воздуха, а также действия физиологической сухости на этапе развития почек возобновления.

Анализ синхронности динамики рядов для параметров значимых корреляций показал, что значимое число совпадений годовых периодов синхронности наблюдается между индексами линейных приростов в сухом местообитании и суммами осадков за август-сентябрь предшествующего года (рис. 2.3.1): индекс синхронности составил 84 %, по критерию совпадения знаков подтверждается гипотеза о неслучайной синхронности годовых динамик рядов.

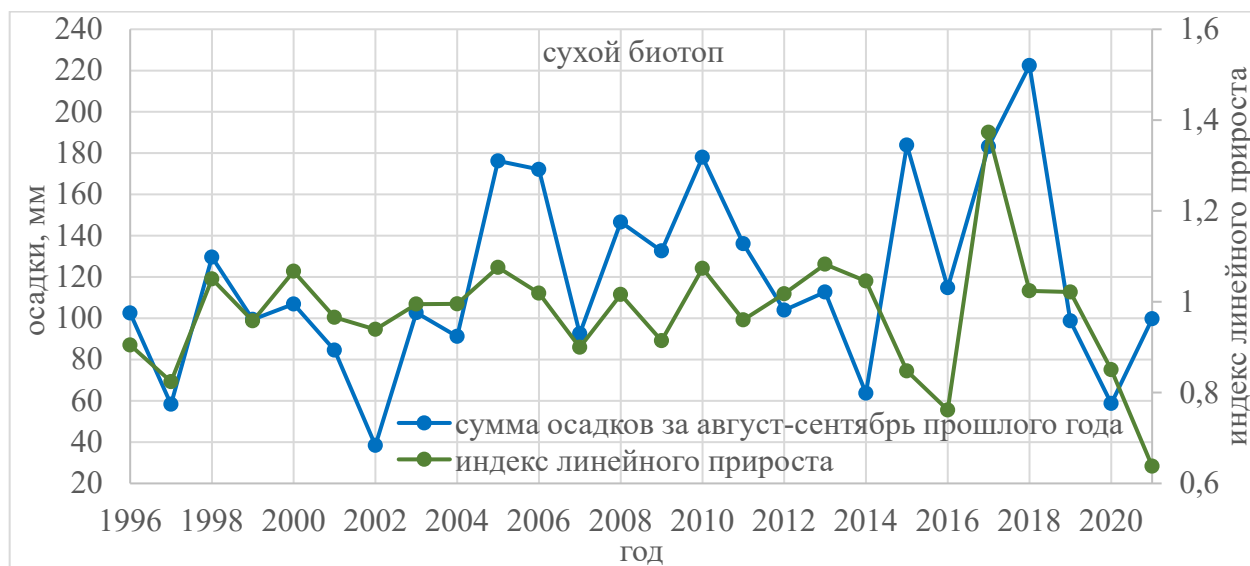


Рис. 2.3.1. Ряды синхронности изменений индексов линейных приростов сосны *Pinus sylvestris* L. в сухом биотопе заказника «Полярный круг» и сумм осадков за август-сентябрь предыдущего года

Таким образом, наибольшее воздействие прошлогодних осадков периода август-сентябрь на приросты сосны происходит именно в сухом местообитании. Данный результат представляется обоснованным: именно в сухих местообитаниях и в соответствующих им сосняках-белошниках на скальных грунтах наблюдается наибольший дефицит влаги, вызванный недостатком осадков из-за скудности почв и невозможности накопления ими воды. Поскольку качество почек возобновления во многом определяет размеры междуузлий следующего вегетационного сезона, нехватка осадков в течение фазы формирования апикальных почек ограничивает последующий прирост деревьев в высоту.

Проведенный анализ корреляций абсолютных значений приростов каждого отдельного дерева с климатическими факторами подтверждает выводы, полученные выше с индексами. Несмотря на разнообразный отклик особей в популяциях сосны на воздействие климатических факторов, отмечается схожесть кумулятивного эффекта значений их линейных приростов со значениями сумм осадков и средних температур во всех типах биотопов (рис. 2.3.2): коэффициенты корреляции для парных связей в свежем биотопе составил 0,79, в сухом 0,90, в свежем 0,82. Следовательно, при регистрации сигнала осадков отмечается и сигнал температурного воздействия. Очевидно, повышение температуры воздуха усиливает нехватку доступной для корневой системы влаги.

Рассчитанные частные коэффициенты корреляции (определяющие тесноту связи между двумя переменными при фиксировании или исключении влияния остальных) показали, что самые слабые связи наблюдаются в свежем местообитании, а в сухом – самые сильные, при этом в сухом и влажном – связи положительны с суммарными осадками и отрицательны со средними температурами.

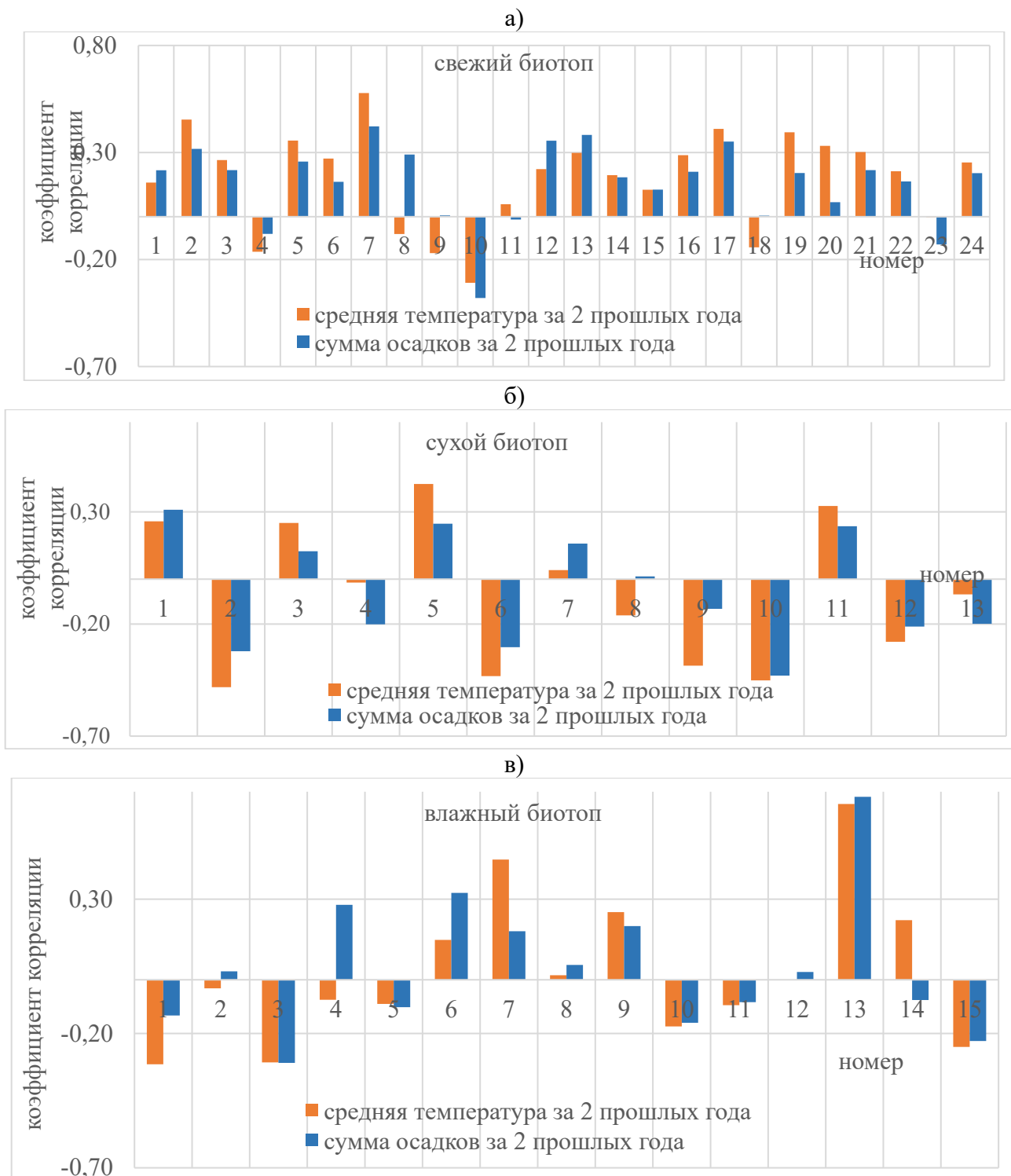


Рис. 2.3.2. Коэффициенты корреляций для линейных приростов каждого дерева с суммами осадков двух предшествующих лет и со средними температурами в свежем (а), сухом (б), влажном (в) биотопах заказника «Полярный круг» (по оси абсцисс отмечены номера деревьев)

К оптимальным условиям произрастания относятся свежие биотопы (сосняки-зеленомошники). Полученные в таких древостоях ряды приростов с меньшей вероятностью содержат значимый климатический сигнал.

Заказник «Полярный круг» расположен в области атлантического и арктического влияния, находится в условиях избыточного увлажнения. Несмотря на это, в сосняках, произрастающих на маломощных примитивных (скальные сосняки) или болотных (сфагновые сосняки) почвах, осадки являются лимитирующим фактором. К оптимальным условиям произрастания относятся свежие биотопы (сосняки-зеленомошники). Однако даже и в подобных типах леса повышение температуры воздуха усиливает дефицит необходимой деревьям воды.

Приокско-Террасный заповедник.

Представленные в табл. 2.3.3 корреляции индексов линейных приростов с климатическими факторами не выявляют статистически значимых связей. Причина - расположение заповедника в центре ареала сосны обыкновенной; кроме того, в ПТБЗ объектами изучения служили сосняки-зеленомошники, произрастающие в свежих местообитаниях. Таким образом, популяции сосны здесь находятся в наиболее близких к оптимальным условиям, и климатический сигнал в рядах приростов скрыт «белым шумом».

При анализе связей приростов отдельных деревьев с климатическими факторами можно выделить наибольшие положительные связи приростов отдельных деревьев с суммами текущих годовых осадков и со средними температурами за июнь-июль текущего года, но статистически значимых среди них немного. Анализ связей с климатическими факторами прошлого и позапрошлого лет не дал дополнительной информации.

Табл. 2.3.3. Корреляции индексов линейных приростов сосны обыкновенной Приокско-Террасного заповедника с различными климатическими факторами в свежем местообитании

климатический фактор		свежий биотоп
сумма осадков	текущего года	0,15
	за апрель-май текущего года	0,54
	за июнь-июль текущего года	0,14
	за август-сентябрь прошлого года	0,38
средняя температура	текущего года	-0,45
	за апрель-май текущего года	-0,52
	за июнь-июль текущего года	-0,18
	за август-сентябрь прошлого года	-0,55

Таким образом, подтверждено отсутствие кумулятивного эффекта воздействия рассматриваемых климатических факторов. При произрастании исследуемых древостоев в центре ареала рассматриваемой породы и в свежих биотопах невозможно уверенно выявить климатические сигналы в рядах приростов. Для данного района заповедника характерно достаточное увлажнение, при этом дерново-подзолистые почвы обеспечивают сосняки ресурсами и сглаживает нехватку почвенной и атмосферной влаги.

Керженский заповедник.

Представленные в табл. 2.3.4 корреляции индексов линейных приростов с климатическими факторами выявляют меньше значимых связей, чем для заказника «Полярный круг». Причиной этого явления можно считать произрастание насаждений в условиях, не столь далёких от оптимальных, как на северной границе ареала сосны обыкновенной.

Значимая положительная корреляция фиксируется для индексов линейных приростов сосны влажного биотопа с суммами осадков за июнь-июль текущего года (0,52). Близкий к значимому положительный коэффициент корреляции с осадками за апрель-май текущего года выявлен для приростов сосны в сухом местообитании (0,42). Важно отметить, что для линейных приростов сосны свежего биотопа значимых корреляций не выявлено, поскольку при отсутствии дефицита ресурсов приросты демонстрируют низкую чувствительность к воздействию климатических факторов.

Табл. 2.3.4. Корреляции индексов линейных приростов сосны обыкновенной Керженского заповедника с различными климатическими факторами в свежем, сухом и влажном местообитаниях

климатический фактор		свежий биотоп	сухой биотоп	влажный биотоп
сумма осадков	сумма осадков за текущий год	0,34	0,27	0,22
	за апрель-май текущего года	0,24	0,42	0,08
	за июнь-июль текущего года	0,32	0,09	0,52
	за август-сентябрь прошлого года	-0,08	-0,16	-0,08
средняя температура	средняя температура за текущий год	0,14	0,08	0,06
	за апрель-май текущего года	0,05	0,14	-0,08
	за июнь-июль текущего года	0,01	-0,17	-0,13
	за август-сентябрь прошлого года	-0,02	0,00	0,12

Для значений индексов сосны в сухом и влажном биотопах проведен анализ синхронности их динамики с суммами осадков рассматриваемых периодов (рис. 2.3.3): индекс синхронности в сухом биотопе составил 71 %, во влажном – 69 %. Существует неопределенность выводов по числу совпадения синхронности годовых динамик рядов, что требует дальнейшего накопления материала для получения более устойчивых результатов. Синхронности хода в данном случае не такие выраженные, как для заказника «Полярный круг», что также объясняется низкой чувствительностью древесных хронологий к климатическим воздействиям.

Анализ корреляции между абсолютными значениями приростами отдельных деревьев и климатическими факторами подтверждает выводы, сделанные с помощью обобщенного индекса. Однако детальный анализ дает дополнительную информацию о превалировании высоких положительных корреляций приростов отдельных деревьев с осадками за август-сентябрь предшествующего года во влажном биотопе и с суммарными годовыми осадками текущего периода в сухом биотопе. Наличие связи между рядами приростов и сумм осадков в сфагновых фитоассоциациях объясняется явлением физиологической сухости, характерным для подобных местообитаний и формирующим дефицит воды в течение фенофазы формирования почек возобновления.

В сухих биотопах на песчаных почвах недостаток осадков ограничивает рост особей практически в любой период года.

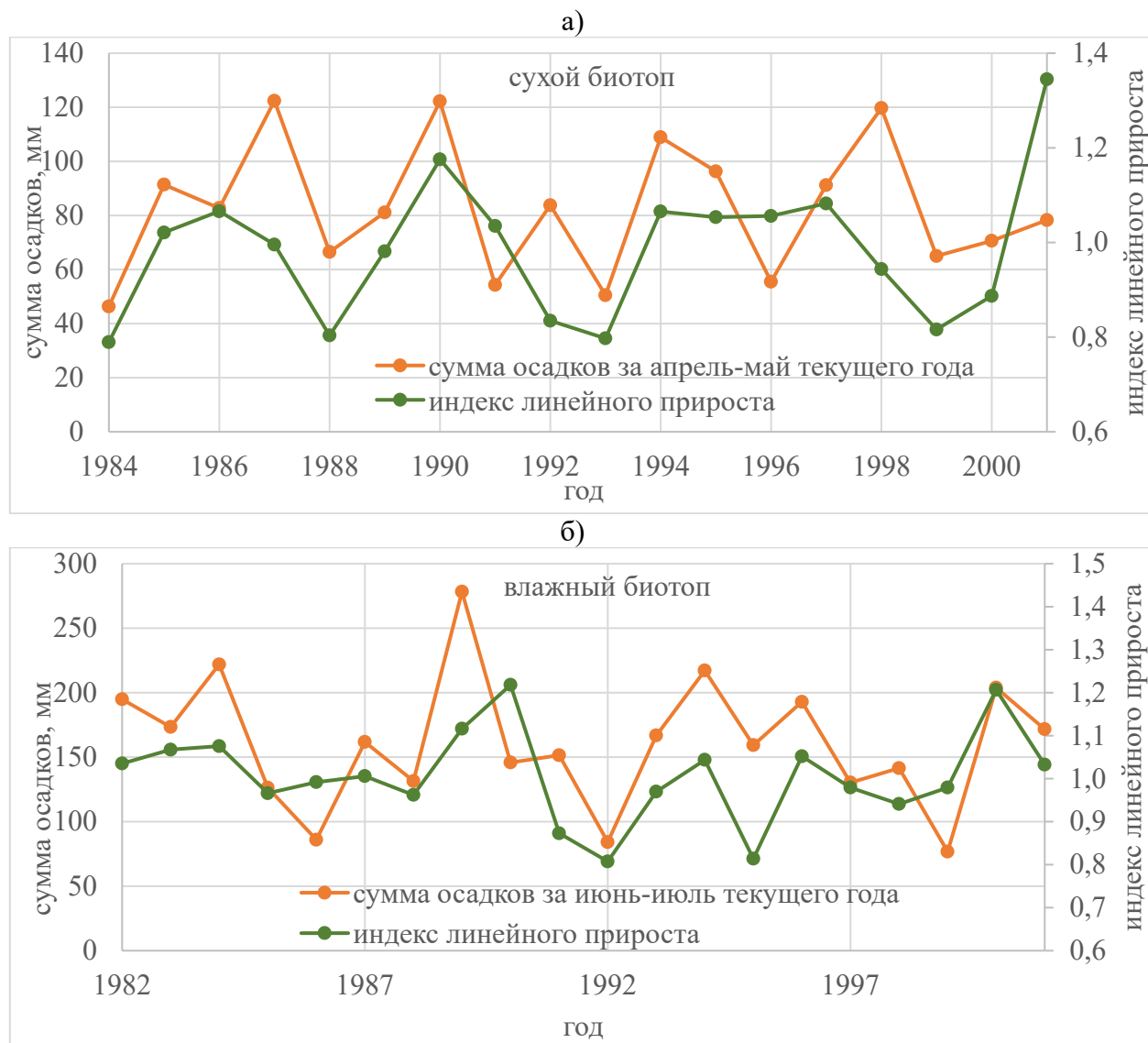


Рис. 2.3.3. Ряды синхронности изменений индексов линейных приростов сосны *Pinus sylvestris* L. Керженского заповедника и сумм осадков за июнь-июль текущего года в сухом (а) и во влажном (б) биотопах

Кроме того, отмечена связь со средними температурами за июнь-июль текущего года во всех типах биотопов (Рис.2.3.4). Вероятно, недостаток одного из ресурсов (влага) влечёт за собой затруднение в использовании другого ресурса (тепло).

Обнаружено, что связь с климатическими факторами сильно ослабевает в ретроспективе двух лет, но хорошо выражена при этом со значениями параметров прошлого года. На рис. 2.3.4 представлена наиболее высокая из таких связей, полученная для линейных приростов влажного биотопа (коэффициент корреляции для парных связей составил 0,70). (коллинеарности между

самими осадками и температурами отсутствует: корреляция между суммами осадков за предшествующий год (август-сентябрь) и средних температур за июнь-июль текущего года составляет лишь -0,24.).

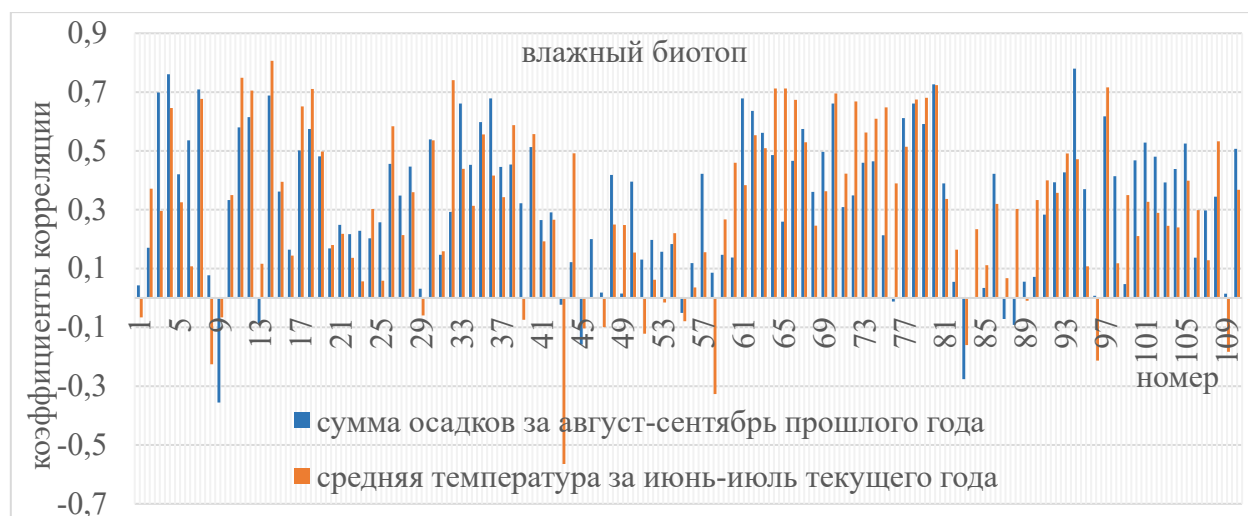


Рис. 2.3.4. Коэффициенты корреляций, полученные для линейных приростов каждого дерева с суммами осадков предшествующих лет и со средними температурами во влажном биотопе Керженского заповедника (по оси абсцисс отмечены номера деревьев)

Керженский заповедник расположен в юго-восточной подобласти атлантико-континентальной европейской климатической области, для которой характерна высокая амплитуда температур; климат является переходным от гумидного к семиаридному, роли осадков для роста и развития древостоев является лимитирующей.

В результате исследований выявлено кумулятивное воздействие климатических факторов одного и двух предшествующих лет на линейные приросты сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., отражающееся в статистически значимых связях с суммами осадков и средними температурами. Эти связи ослабевают по мере продвижения к оптимальным условиям произрастания сосны.

На краях экологической ниши сосны обыкновенной (на южном и северном краях ареала, а также в сухих и влажных местообитаниях), в условиях произрастания, далёких от оптимальных, чувствительность приростов к изменениям температуры и осадков наибольшая, и получаемые путем сглаживания рядов значений приростов индексы линейных приростов позволяют определить искомые климатические сигналы. К подобным местообитаниям относятся сухие (на маломощных примитивных или песчаных почвах) и влажные (на болотных почвах) древостои из комплексного заказника регионального значения «Полярный круг» и государственного природного заповедника «Керженский».

В Приокско-Террасном государственном природном биосферном заповеднике, в центре ареала *P. sylvestris*, в свежих биотопах на дерново-подзолистых почвах дендрохронологии характеризуются как «благодушные» и не демонстрируют значимые отклики на воздействие климатических факторов.

Таким образом, при проведении оценки воздействия изменения климата на природные экосистемы Европейской территории России следует учитывать характер изучаемых местообитаний и типов леса. Наиболее репрезентативными будут показатели приростов сосняков из песчаных местообитаний и с границ ареала породы.

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

3.1. Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ

В 2024 г. фоновое содержание ртути, свинца, кадмия в поверхностных водах большинства фоновых районов России соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние годы, и составило для ртути 0,13–0,50 мкг/л, свинца 0,20–2,55 мкг/л, кадмия 0,04–0,43 мкг/л (табл. 3.1.1). Для фонового уровня тяжелых металлов в поверхностных водах по данным сети СКФМ, в течение последних 10-лет сохраняется тенденция стабилизации их концентраций.

Таблица 3.1.1. Фоновое загрязнение поверхностных вод по данным сети КФМ

Заповедник	Период наблюдений	Свинец, мкг/л		Кадмий, мкг/л		Ртуть, мкг/л	
		Диапазон	2024 г.	Диапазон	2024 г.	Диапазон	2024 г.
Приокско-Террасный БЗ	1987-2024	нпо-39,4	0,77	0,03-3,5	0,04	0,03-16,0	0,50
Астраханский БЗ	1988-2024	0,08-128	0,33	0,1-413	0,43	0,01-74	0,41
Воронежский БЗ	1990-2024	0,16-50	0,20	0,01-4,6	0,01	0,02-34,5	0,13
Мариинск	2024	0,28-0,33	0,31	0,14-0,16	0,15	0,05-0,34	0,17
Яйлю	2001-2024	0,01-8,5	2,55	0,01-11,0	0,05	0,01-0,57	0,13

нпо – ниже предела обнаружения

С 2024 г. после пятилетнего перерыва возобновились наблюдения за определениями концентраций хлорорганических пестицидов (ХОП) в поверхностных водах на более чувствительном оборудовании, из-за чего предел их обнаружения снизился, а полученные данные нельзя сопоставить с прежними диапазонами наблюдений. Существовавшие ранее определяемые диапазоны данных в разделе не приводятся.

В таблице 3.1.2 представлены среднегодовые данные концентраций хлорорганических пестицидов (ХОП) в поверхностных водах за 2024 г.

Таблица 3.1.2. Фоновое загрязнение поверхностных вод ХОП за 2024 г. по данным сети КФМ

Заповедник	α -ГХЦГ, нг/л	ГХБ, нг/л	γ -ГХЦГ, нг/л	п,п'-ДДЭ, нг/л	п,п'-ДДД, нг/л	п,п'-ДДТ, нг/л
Астраханский БЗ	0,45	187,78	2,15	18,59	НПО	НПО
Воронежский БЗ	0,67	НПО	НПО	НПО	НПО	НПО
Приокско-Террасный БЗ	НПО*	31,33	7,47	15,18	НПО	НПО
Яйлю	НПО	15,24	16,55	НПО	НПО	НПО

**НПО – ниже предела обнаружения. При расчетах средних значения НПО принимаются как половина предела обнаружения: α -ГХЦГ, ГХБ, γ -ГХЦГ – 0,25 нг/л; п,п'-ДДЭ, п,п'-ДДД – 0,5 нг/л; п,п'-ДДТ – 1 нг/л*

По полученным результатам можно отметить, что для п,п'-ДДД и п,п'-ДДТ на всех исследуемых реках значения не превышали пределов обнаружения. Уровни концентраций сохранились на уровне прежних измеряемых диапазонов данных. С 2024 г. также добавились измерения гексахлорбензола (ГХБ), содержание которого в поверхностных водах показывает наиболее высокие значения из определяемых хлорорганических пестицидов.

3.2. Состояние, тенденции и динамика изменения состояния поверхностных вод Российской Федерации. Данные станций гидрохимических наблюдений.

Бассейн Азовского моря

Качество воды р. Ворона в черте г. Уварово, характеризуемой в течение большинства предыдущих лет как «условно чистая», либо «слабо загрязненная», ухудшилось с 2020 г. до уровня «загрязненная» в 2020 – 2024 гг. Загрязненность воды возросла нитритным азотом от неустойчивой (П1 – 14%) в 2022 г. до характерной (П1 – 57%) в 2023-2024 гг., среднегодовая концентрация повысилась от ниже ПДК до 3 ПДК в 2023 г., незначительно снизилась в 2024 г. и не превышала 2 ПДК; максимальная концентрация уменьшилась по сравнению с 2023 г. от 8 до 4 ПДК. Мало изменилось содержание в воде соединений железа и составляло 1,7 ПДК в среднем. Содержание остальных загрязняющих веществ было ниже или в пределах 1 ПДК. Комплекс загрязняющих веществ оказывает негативное влияние на качество воды реки на уровне 3-го класса (рис. 3.2.1)

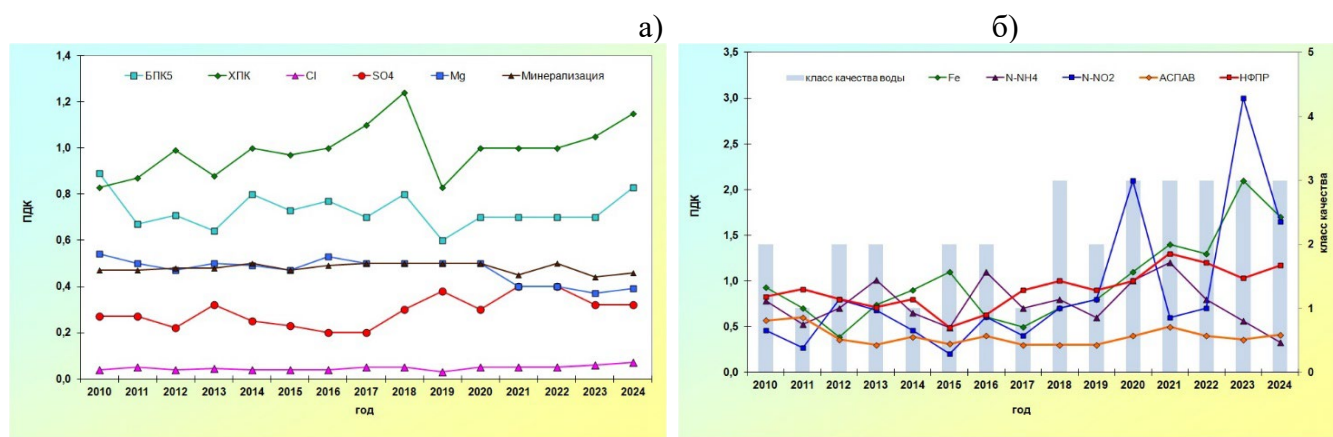
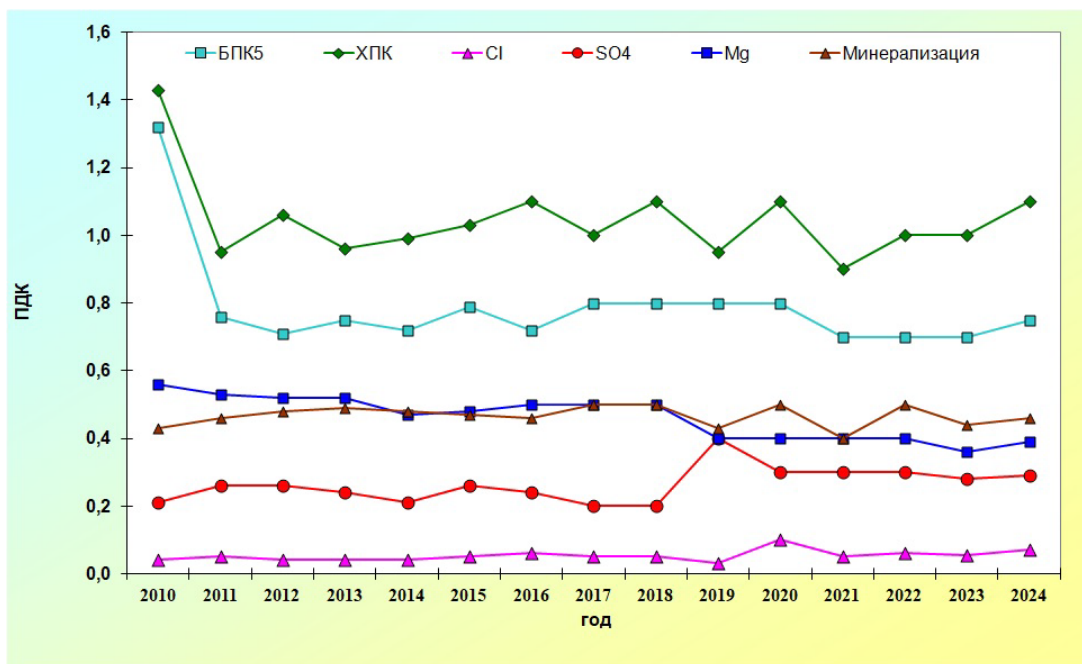


Рис. 3.2.1 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды р. Ворона в черте г. Уварово в многолетнем плане (а,б)

Вода р. Лесной Воронеж, выше г. Мичуринск, в многолетнем плане колебалась в основном в пределах «условно чистая» - «слабо загрязненная». Качество воды ухудшилось от уровня «условно чистая» (1-й класс качества) до уровня «загрязненная» (3-й класс) в 2023 г., сохранилось на уровне «загрязненная» в 2024 г. Возросла загрязненность воды реки нитритным азотом от значений ниже ПДК до 4,5 ПДК в среднем в 2023 г., снизилась более чем в 2,5 раза в 2024 г. Число случаев нарушения норматива нитритным азотом увеличилось от 0 % в 2022 г. до 83 % в 2023 г. не изменилось в 2024 г. (83 %). Среднегодовая концентрация соединений железа в 1,8 раз превышала ПДК, остальных загрязняющих веществ мало изменилась и была в основном ниже нормативных требований (рис. 3.2.2).

а)



б)

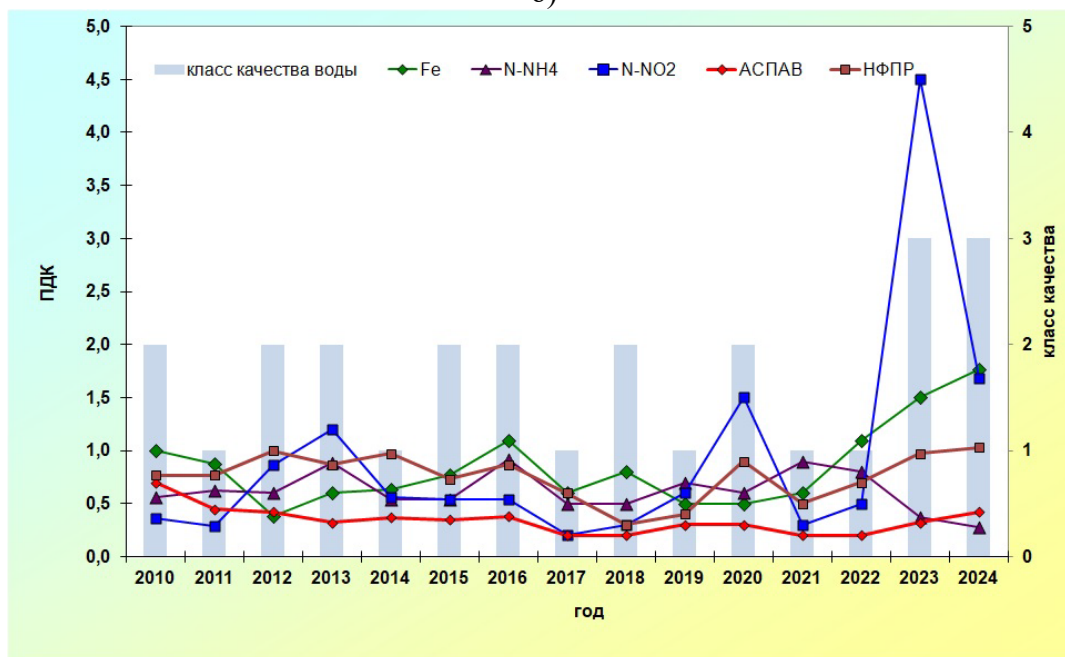


Рис. 3.2.2 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды р. Лесной Воронеж выше г. Мичуринск в многолетнем плане (а, б)

Бассейн Карского моря.

Притоки озера Байкал. В 2025 г. вода в устьевых участках 10 рек, выбранных в качестве фоновых (рр. Большая Сухая, Мантуриха, Мысовка, Снежная, Выдриная, Утулик, Хара-Мурин, Голоустная, Сарма, Бугульдейка) оценивалась как «условно чистая». В воде рек Мысовка, Голоустная, Бугульдейка регистрировали единичные случаи загрязненности воды фенолами, максимально до 1,4-2 ПДК; рек Хара-Мурин, Большая Сухая – соединениями меди (1-2

ПДК); рек Мантуриха, Хара-Мурин – нефтепродуктами (1,0-1,2 ПДК). В остальных реках случаев превышений концентраций загрязняющих веществ не отмечалось. Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды рек Голоустная, Бугульдейка, Сарма, Мантуриха и Мысовка в многолетнем плане за период 2010-2024 гг. представлены на рис. 3.2.3.

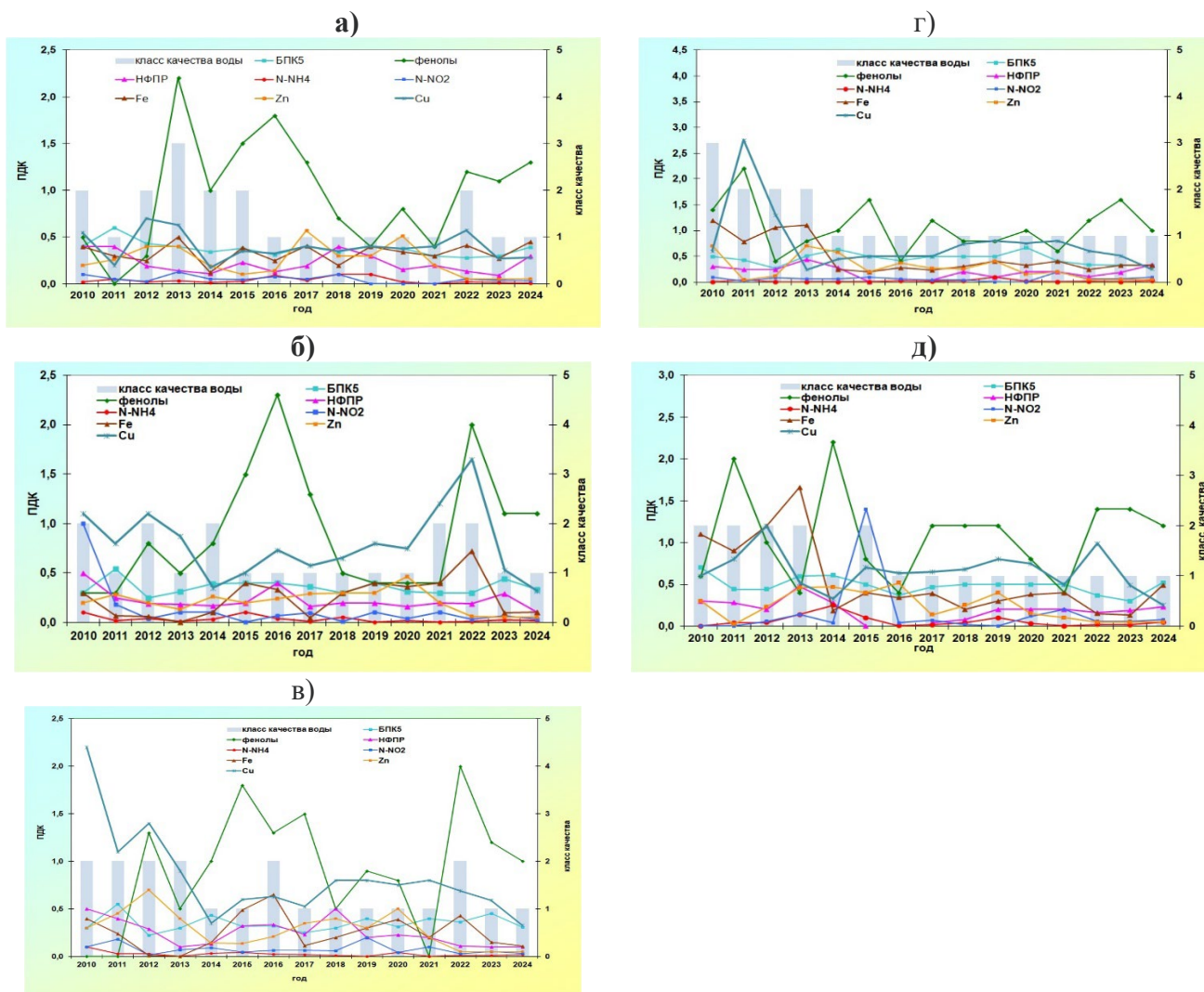


Рис. 3.2.3 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды притоков оз. Байкал за многолетний период: а) р. Голоустная, б) р. Бугульдейка, в) р. Сарма, г) р. Мантуриха, д) р. Мысовка

Вода **Иркутского водохранилища** в трех створах наблюдений, выбранных в качестве фоновых (исток Ангары, п. Патроны, г. Иркутск), в 2024 г. оценивалась как «условно чистая» (рис. 3.2.4). Во всех створах отмечалась устойчивая загрязненность воды фенолами, максимально до 2,2-3,4 ПДК.

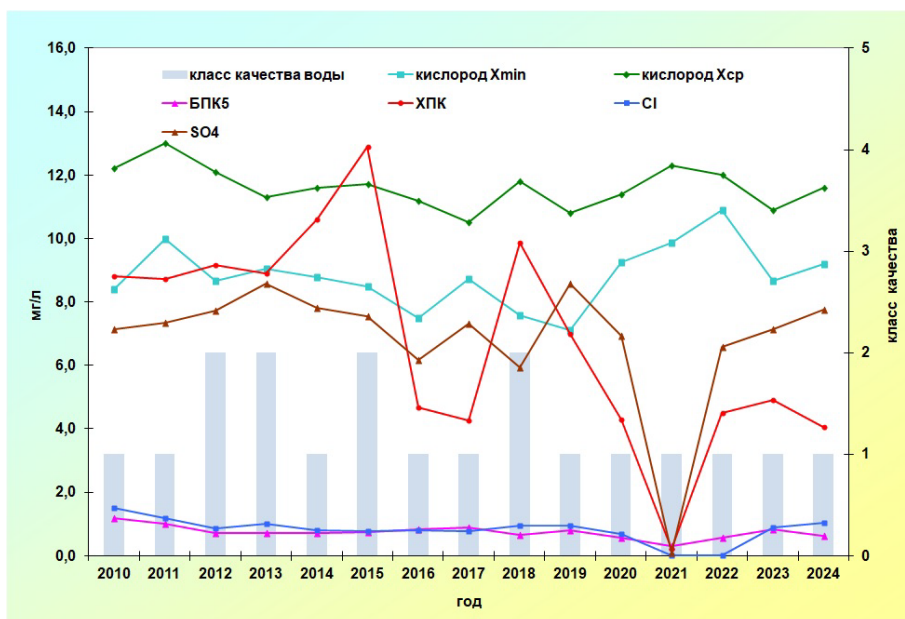


Рис. 3.2.4 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды Иркутского водохранилища, ОГП-1, исток Ангары за многолетний период

Бассейн Восточно-Сибирского моря. В качестве фоновых для изучения уровня загрязненности воды в многолетнем плане выбраны 2 створа **р. Лена**: р.п. Качуг и г. Усть-Кут.

В многолетнем плане вода р. Лена в верхнем створе р.п. Качуг характеризуется как «слабо загрязненная». Хорошее качество воды р. Лена в створе р.п. Качуг обусловлено низким содержанием среднегодовых концентраций соединений меди, никеля, нитритного азота в пределах 1 ПДК (рис. 3.2.5).

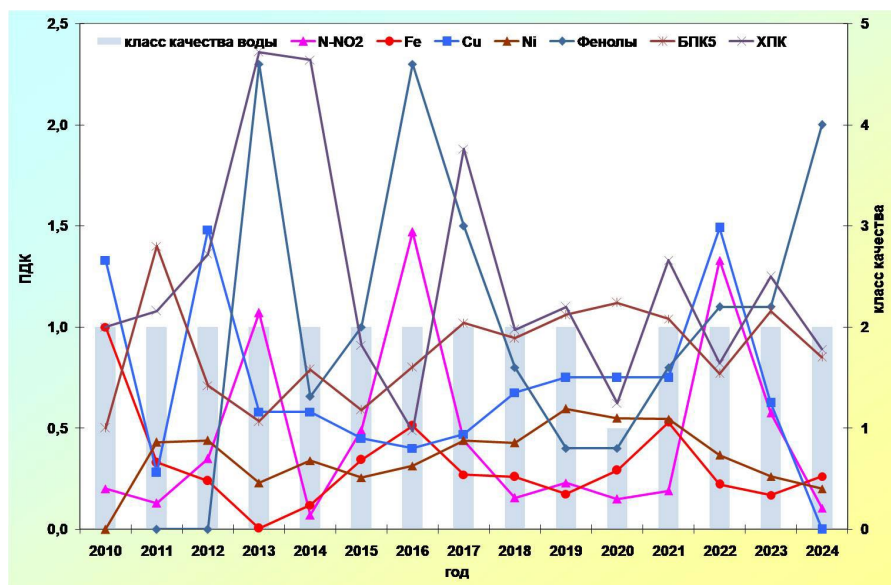


Рис. 3.2.5. Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды р. Лена, р.п. Качуг за многолетний период

В 2024 г. качество воды р. Лена в створе р. Усть-Кут осталось на уровне предыдущего года и оценивалось как «слабо загрязненная» (рис. 3.2.6). Среднегодовые концентрации незначительно изменились и были ниже или в пределах ПДК.

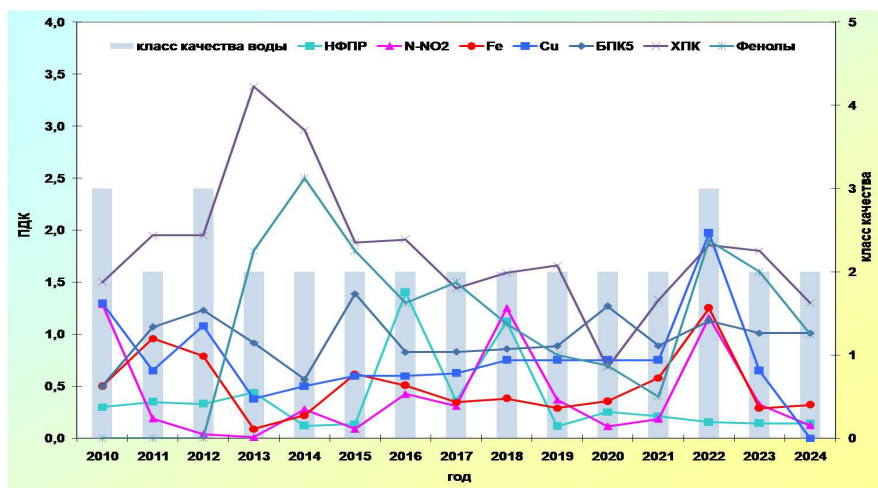


Рис. 3.2.6. Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды р. Лена, г. Усть-Кут за многолетний период

Бассейн Тихого океана.

Реки о. Сахалин. Многолетнее изучение динамики фонового загрязнения воды водных объектов на острове в 2024 г. продолжали на участках **р. Рогатка, р. Правда, р. Лютога, р. Чеховка, р. Углегорка, р. Очепуха**, где в течение многих лет отсутствовал организованный сброс производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Река Рогатка относится к малым водным объектам бассейна р. Сусуя, протекающей по самой густонаселенной части о. Сахалин. Вода р. Рогатка в 2024 г. характеризовалась как «слабо загрязненная» (рис. 3.2.7).

В 86 % проб воды р. Рогатка отмечали отклонение от нормативных требований по содержанию соединений меди; в единичных пробах – незначительное превышение ПДК соединений железа и цинка. Среднегодовая минерализация воды р. Рогатка в пункте г. Южно-Сахалинск в створе 0,8 км выше плотины водохранилища в течение 2024 г. была на уровне 59,7 мг/л. Содержание взвешенных веществ в среднем достигало 12,3 мг/л. В течение года сохранялся благоприятный кислородный режим, минимальное содержание растворенного в воде кислорода составляло 10,1 мг/л.

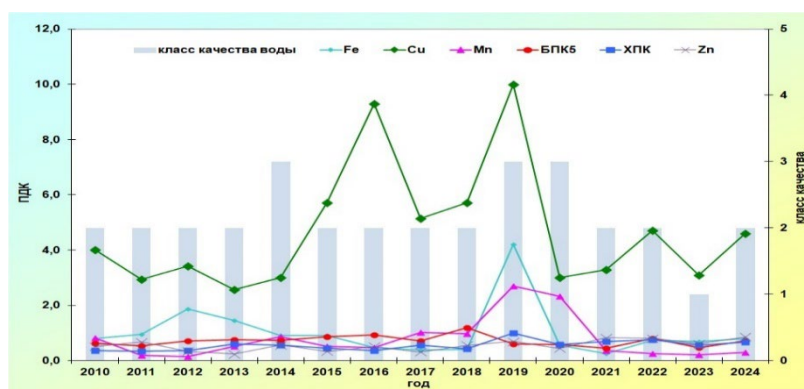


Рис. 3.2.7 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды р. Рогатка в фоновом пункте г. Южно-Сахалинск за многолетний период

Река Правда относится к малым водным объектам о. Сахалин. Створ наблюдений расположен в 0,5 км выше п. Правда. Вода р. Правда в 2024 г. характеризовалась как «слабо загрязненная». В 2024 году в большинстве проб воды отмечались превышения ПДК соединений меди, реже железа. В единичных случаях отмечалась неустойчивая загрязненность воды соединениями цинка, реже марганца (рис. 3.2.8).

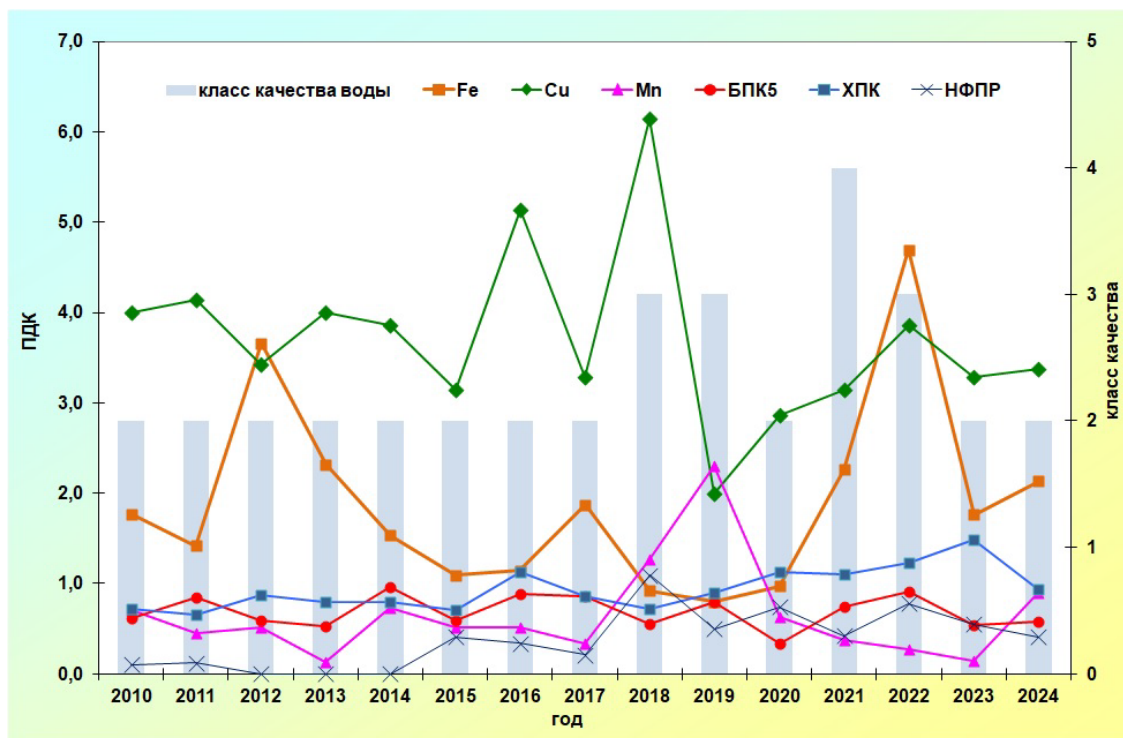


Рис. 3.2.8 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды р. Правда, п. Правда за многолетний период

Среднегодовая минерализация воды р. Правда в течение 2024 г. была на уровне 95,7 мг/л. Содержание взвешенных веществ варьировало в среднем составляло 181 мг/л, достигая в течение года 425 мг/л. В течение года сохранялся благоприятный кислородный режим, минимальное содержание растворенного в воде кислорода составляло 9,74 мг/л.

Для воды рек Очепуха, Углегорка, Чеховка соединения меди являлись характерным загрязняющим веществом, с повторяемостью случаев превышения ПДК в 86-100 % проб воды. Загрязненность невысокого уровня соединениями железа носило в основном неустойчивый характер, в единичных пробах воды отмечались превышения установленных нормативов соединениями цинка, реже легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК₅). Вода рек Лютога и Чеховка в 2024 г. оценивалась как «слабо загрязненная», р. Углегорка как «загрязненная». Минерализация воды рек в среднем была на уровне 67,8-76,2 мг/л. Кислородный режим воды водотоков в течение года был удовлетворительным, не опускаясь ниже установленного норматива.

Реки полуострова Камчатка. На полуострове Камчатка в фоновых створах гидрохимических наблюдений **р. Камчатка**, 0,8 км к северу от с. Пушино, **р. Берш** у с. Пушино, **р. Большая Быстрая**, 0,5 км выше с. Малки вода по качеству, в основном, соответствовала фоновому содержанию, характеризуясь как «слабо загрязненная». Во всех реках в течение года сохранялся удовлетворительный кислородный режим, среднегодовая минерализация воды составляла 55,1-82,2 мг/л.

В части проб воды р. Берш выявлено неустойчивое загрязнение соединениями меди низкого уровня, отмечались единичные случаи превышения ПДК соединений цинка, реже нефтепродуктов. Среднегодовые концентрации большинства загрязняющих веществ не достигали ПДК, соединений меди и цинка были на уровне 1 ПДК (рис. 3.2.9).

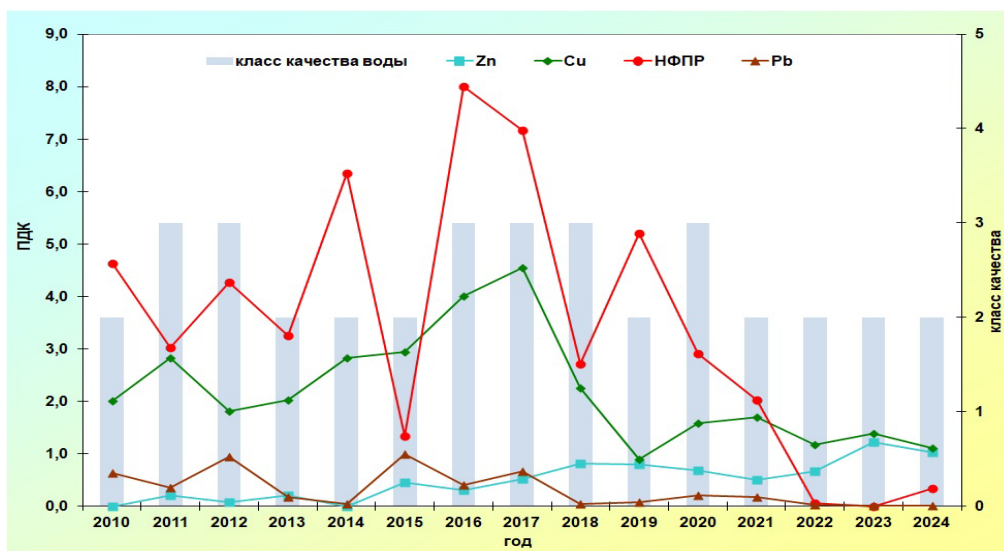


Рис. 3.2.9 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды р. Берш в пункте с. Пушино за многолетний период

3.3. Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ

В районах расположения станций сети ЕАНЕТ на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока проводятся наблюдения по программе мониторинга содержания основных ионов в поверхностных водах с целью получения данных для оценки воздействия кислотных выпадений на экосистемы водоёмов и малых рек. Основные принципы организации наблюдений разработаны и реализуются с использованием опыта программ мониторинга в рамках Конвенции ЕЭК ООН по трансграничному загрязнению воздуха (ICP-Waters, ICP-IM), региональных сетей мониторинга ряда стран, включая Россию, и долгосрочных исследовательских проектов в Европе и Японии.

На российской сети ЕАНЕТ многолетние наблюдения ведутся на двух водных объектах: р. Переемная, приток оз. Байкал, в регионе расположения станции атмосферного мониторинга ЕАНЕТ Листвянка; и р. Комаровка (приток р. Раздольная, бассейн Японского моря), на станции Приморская. Общие характеристики водотоков и их водосборных бассейнов приведены во 2-м Периодическом отчёте о состоянии кислотных выпадений в Восточной Азии (2011).

Для реки Комаровка в 2024 году наблюдалось значительное снижение уровня содержания сульфатов, в ноябре 2024 года была зафиксирована их минимальная концентрация за весь период наблюдений. Минимальные за период наблюдений 2007-2024 гг. концентрации наблюдались также в феврале для хлоридов, в сентябре – для кальция и магния. Среднегодовые значения концентраций за 2024 год были выше средних многолетних только для кальция, натрия и калия. Значение рН также было ниже по сравнению со средним многолетним значением (Табл. 3.3.1).

Для реки Переемная в 2024 году было зафиксировано незначительное повышение уровня содержания сульфатов и кальция относительно среднего многолетнего значения. Значение рН было незначительно ниже среднего многолетнего значения (Табл. 3.3.1). Для большинства измеряемых веществ уровни концентраций в воде р. Переемная значительно ниже, чем в воде р. Комаровка.

Кислотность поверхностных вод

В р. Комаровка после периода резко возросших значений рН, наблюдавшегося в 2021–2022 гг., к 2024 году произошло резкое увеличение кислотности. Значения показателя рН снизились до минимального уровня, наблюдавшегося ранее в 2019 году (Рис. 3.3.1). В течение года значения рН колебались в пределах от 6,44 до 6,86 ед. рН при многолетней амплитуде колебаний от 6,35 до 8,38 единиц рН. В сезонном ходе для р. Комаровки более низкие значения характерны в весенне-зимний период. Среднее многолетнее и для зимы, и для весны составило 6,99 единиц

pH. Незначительное повышение наблюдается в летне-осенний период (среднее многолетнее значение для лета – 7,09, для осени – 7,07 единиц pH) (Рис. 3.3.2, слева). В целом, для реки Комаровка были характерны более высокие значения показателя pH, чем для р. Переемная. Однако в 2024 г. значения pH в р. Комаровка были ниже по сравнению с р. Переемная (Рис. 3.3.1).

Табл. 3.3.1. Средние многолетние концентрации основных ионов и диапазон их изменений в поверхностных водах водотоков в районах станций ЕАНЕТ в 2007–2024гг.

Вещество (измеряемое соединение)	р. Комаровка (Приморье)			р. Переемная (бассейн оз. Байкал)		
	Среднее		Диапазон измерений (2007–2024)	Среднее		Диапазон измерений (2007–2024)
	Многолетнее (2007–2024)	2024 г		Многолетнее (2007–2024)	2024 г	
pH	7,04	6,62	6,35 – 8,38	6,76	6,74	6,41 – 7,21
SO ₄ ²⁻ , мг/л	11,32	6,54	1,85 – 25,17	11,34	12,07	6,37 – 15,49
NO ₃ ⁻ , мг/л	1,63	0,53	0,04 – 6,15	0,73	0,70	0,18 – 1,53
Cl ⁻ , мг/л	3,53	3,25	1,50 – 12,38	0,15	0,07	0,01 – 0,44
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,17	0,14	0,01 – 1,04	0,020	0,007	НПО* – 0,25
Ca ²⁺ , мг/л	8,91	9,36	4,72 – 25,67	4,84	5,14	2,98 – 6,79
Mg ²⁺ , мг/л	2,17	1,37	0,36 – 7,13	0,88	0,93	0,39 – 1,31
Na ⁺ , мг/л	4,29	6,13	2,08 – 13,02	1,04	1,00	0,62 – 2,04
K ⁺ , мг/л	1,02	1,39	0,30 – 3,58	0,67	0,70	0,43 – 0,97

* НПО – результаты измерения ниже предела обнаружения, установленного методиками измерений.

За весь рассматриваемый период наблюдений (2007–2024) среднегодовые значения величины pH воды в р. Переемной изменялись от 6,41 до 7,21, при среднем многолетнем 6,76. Значения в 2024 г. колебались в пределах от 6,62 до 6,89 единиц pH. В сезонном ходе наиболее высокие значения наблюдаются летом: среднее за многолетний период 6,94. Среднее значение pH для зимы составило 6,70, наиболее низкие значения наблюдаются весной – среднее значение 6,66 единиц pH (Рис. 3.3.2, справа).

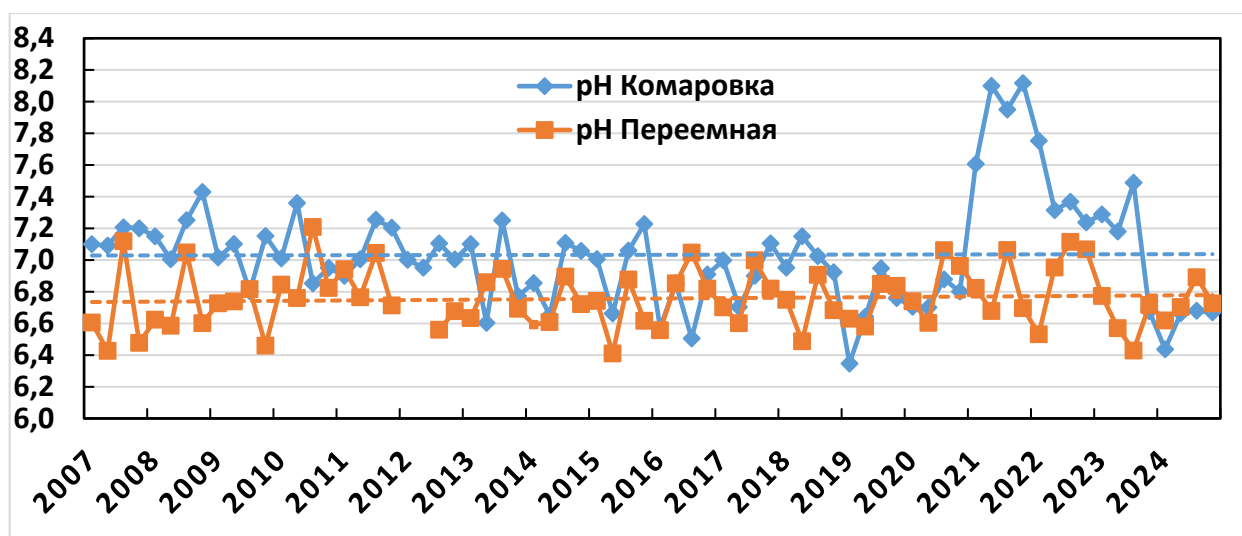


Рис.3.3.1 Тенденции изменения pH в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал за 2007-2024 гг.

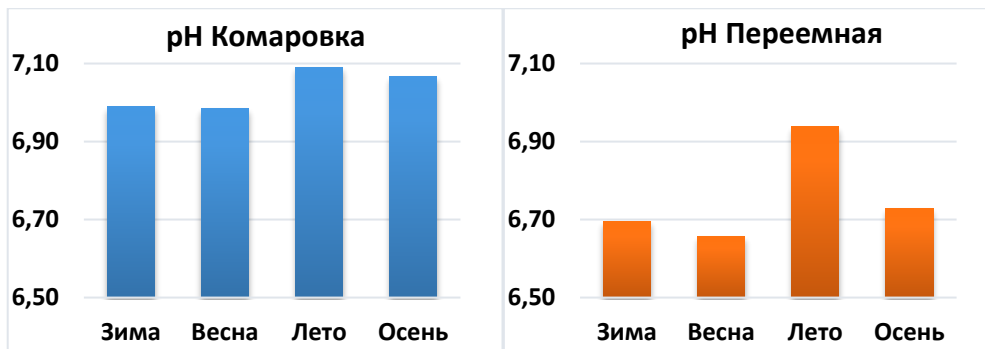


Рис.3.3.2 Средние значения pH за 2007–2024 гг. по сезонам в водах р. Комаровка (слева) и р. Переемная (справа).

Содержание сульфатов

В 2024 году среднегодовое содержание сульфатов в воде р. Комаровка составило 6,54 мг/л, что значительно ниже среднего многолетнего значения. В течение года измеренные значения изменялись от 1,85 до 8,08 мг/л. При этом даже наибольшее значение концентраций оказалось ниже многолетнего среднего. В ноябре измерения показали абсолютное минимальное значение концентраций, которое составило 1,85 мг/л. Абсолютное максимальное значение не изменилось и составило 25,17 мг/л (в осенний период 2021 года). Для р. Переемная среднегодовая концентрация составила 12,07 мг/л (Таблица 3.3.1), что немного выше многолетнего среднего (11,34 мг/л). Амплитуда колебаний концентраций в течение года составила от 7,77 до 14,53 мг/л (Рис. 3.3.3). За весь период 2007–2024 гг. абсолютные минимальные и максимальные значения остались прежними: 6,37 мг/л (в весенний период 2011 года) и 15,49 мг/л (в зимний период 2010 года), соответственно.

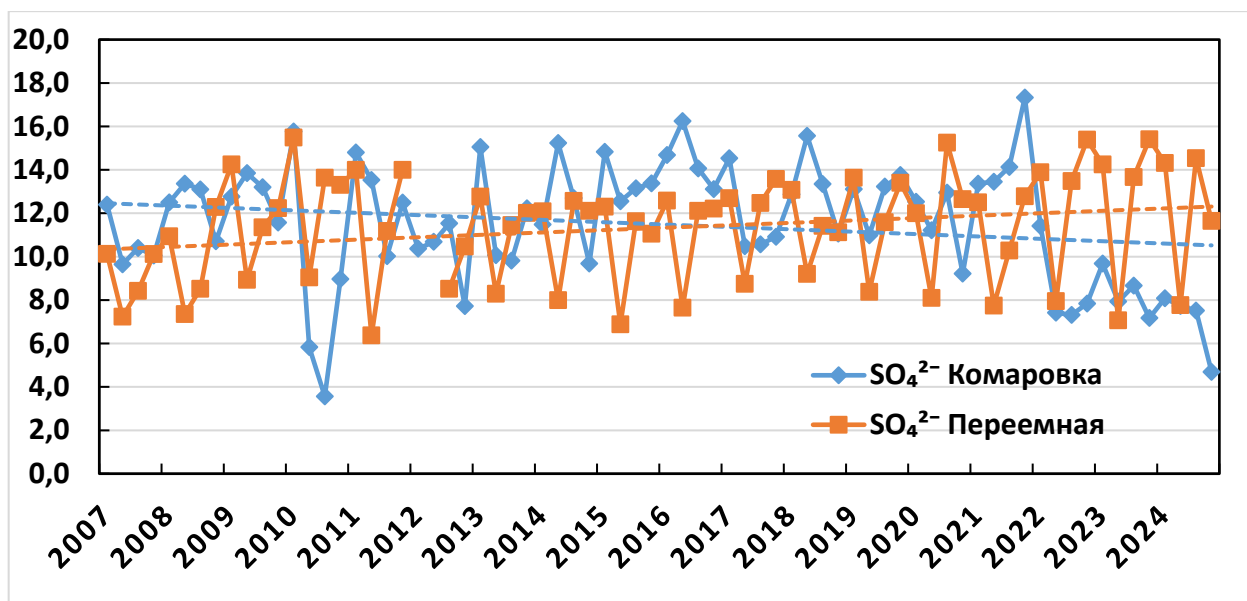


Рис.3.3.3 Тенденции изменения концентраций сульфатов (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал за 2007–2024 гг.

В годовом ходе концентраций для р. Комаровка стало более выраженным проявление сезонности. Можно отметить более высокие значения в зимний период (среднее многолетнее 12,79 мг/л) и более низкие - в осенний (10,66 мг/л). Для р. Переемной пониженные концентрации сульфатов отмечаются в весенние месяцы, в этот сезон среднее многолетнее 7,92 мг/л (Рис. 3.3.4).



Рис.3.3.4 Внутригодовые изменения концентраций сульфатов (мг/л) за 2007–2024 гг. в водах р. Комаровка (слева) и р. Переемная (справа).

Содержание нитратов

По результатам измерений в 2024 году продолжилось снижение содержания нитратов в поверхностных водах р. Комаровка. Средняя концентрация за год составила 0,53 мг/л, что значительно ниже уровня среднемноголетних значений (1,63 мг/л). Интервал измеренных за год концентраций в р. Комаровка составлял от 0,16 мг/л до 1,30 мг/л. Общий возрастающий тренд концентраций нитратов после 2017 г. изменился на понижение с достижением уменьшения сезонных колебаний и значений менее 1,5 мг/л после 2020 г.

Для р. Переемная среднее значение за 2024 год (0,70 мг/л) осталось на уровне среднего многолетнего значения (0,73 мг/л). Интервал измеренных за год концентраций в р. Переемная составлял от 0,38 до 1,12 мг/л (рис.3.3.5).

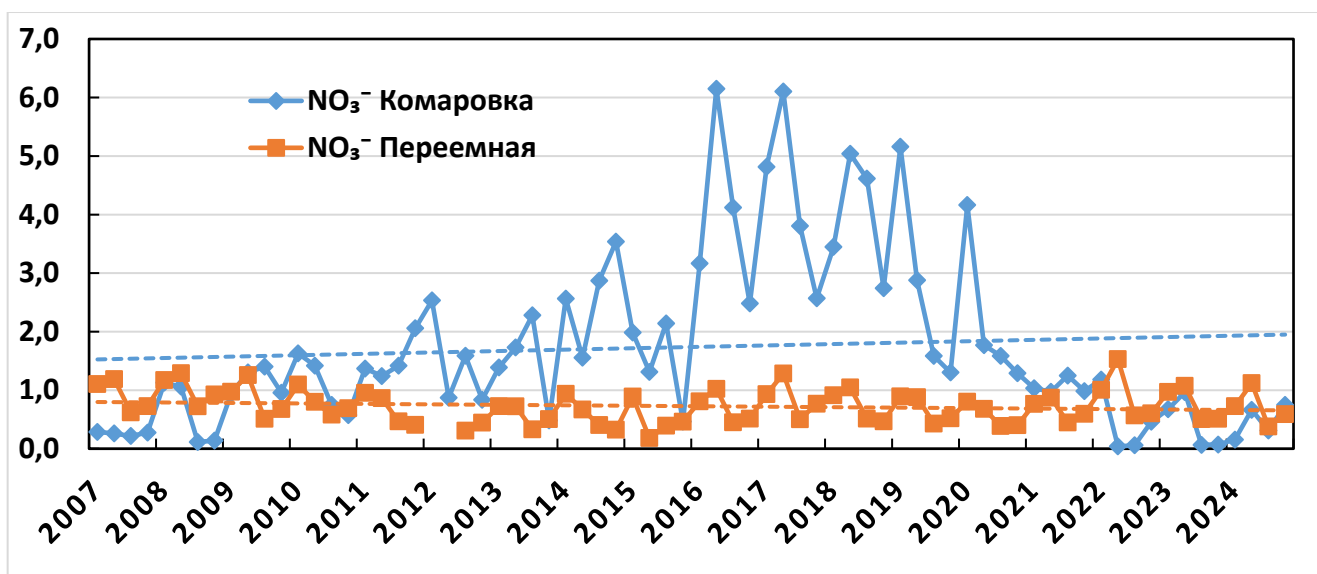


Рис.3.3.5 Тенденции изменения концентраций нитратов (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал за 2007-2024 гг.

В годовом ходе для р. Комаровка максимальные концентрации характерны для зимнего периода, после которого содержания нитратов снижается, самые низкие концентрации наблюдаются осенью. Для р. Переемная на протяжении многих лет прослеживается закономерность снижения концентраций нитратов в летне-осенний период; (рис. 3.3.6).

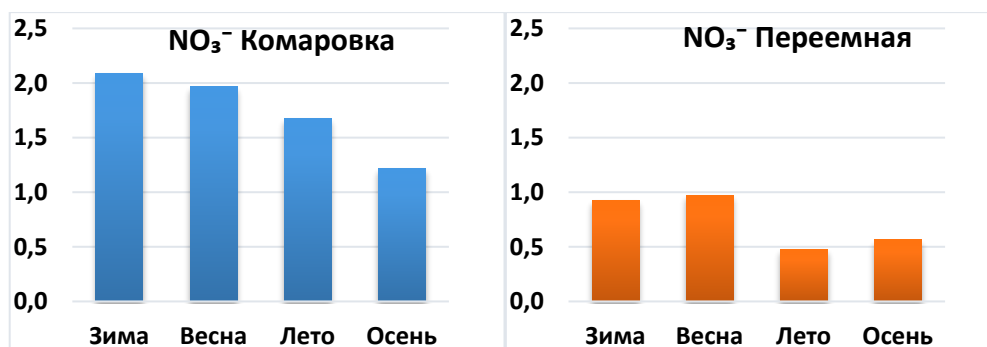


Рис.3.3.6 Внутригодовые изменения концентраций нитратов (мг/л) в р. Комаровка (слева) и р. Переemная (справа) в 2007-2024 гг.

Содержание хлоридов

В 2024 году среднегодовое содержание хлоридов в воде р. Комаровка оставалось на уровне средних многолетних значений. Амплитуда колебания значений была достаточно низкой, в интервале от 3,08 мг/л до 4,78 мг/л. Содержание хлоридов в поверхностных водах р. Комаровка значительно выше, чем в р. Переemная (Рис. 3.3.7). При этом в 2024 г. среднегодовое значение хлоридов в р. Переemная было даже ниже среднего многолетнего значения (Табл. 3.3.1).

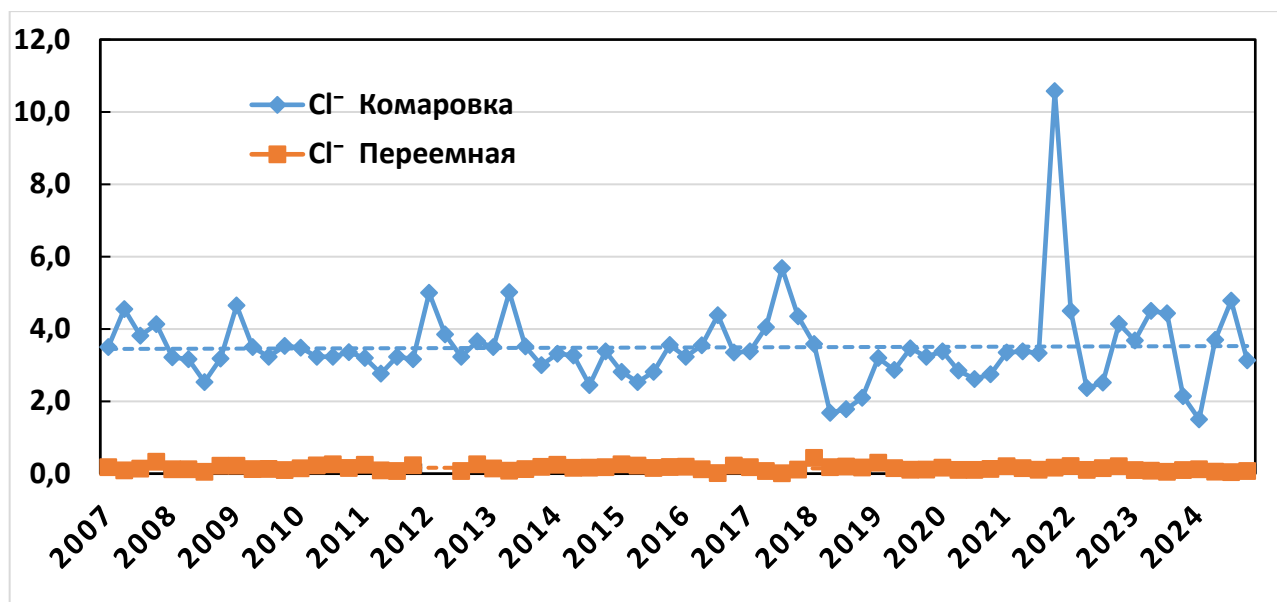


Рис.3.3.7 Тенденции изменения концентраций хлоридов (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал за 2007-2024 гг.

В годовом ходе для р. Комаровка максимальные концентрации хлоридов характерны для осеннего периода (среднее многолетнее 3,71 мг/л), а самые низкие концентрации прослеживаются весной и летом (средние сезонные многолетние 3,38 и 3,39 мг/л, соответственно). Для р.

Переменная из-за низких уровней концентраций хлоридов сезонность вариаций заметна слабо, но самые низкие значения отмечаются в летний период (среднее многолетнее 0,11 мг/л), а незначительно повышенные концентрации - в зимний период (среднее многолетнее 0,20 мг/л) (рис. 3.3.8).



Рис.3.3.8 Внутригодовые изменения концентраций хлоридов (мг/л) в р. Комаровка (слева) и р. Переемная (справа) в 2007-2024 гг.

Основные катионы

Среднее содержание ионов кальция, являющегося преобладающим из катионов, для р. Комаровка в 2024 году составило 9,36 мг/л, при среднем многолетнем 8,91 мг/л (Рис. 3.3.9). Колебания значений концентраций кальция в течение года составили от 4,72 мг/л в сентябре, что стало наименьшим показателем за всю историю наблюдений, до 13,08 мг/л. Содержание магния составило 1,37 мг/л, при среднем многолетнем 2,17 мг/л (Рис. 3.3.10). Колебания значений концентраций магния в течение года составили от 0,36 мг/л (что также стало новым минимумом) до 3,07 мг/л. Содержание аммония было ниже среднего многолетнего, и в течение года концентрации колебались от 0,07 мг/л до 0,37 мг/л (Рис. 3.3.11).

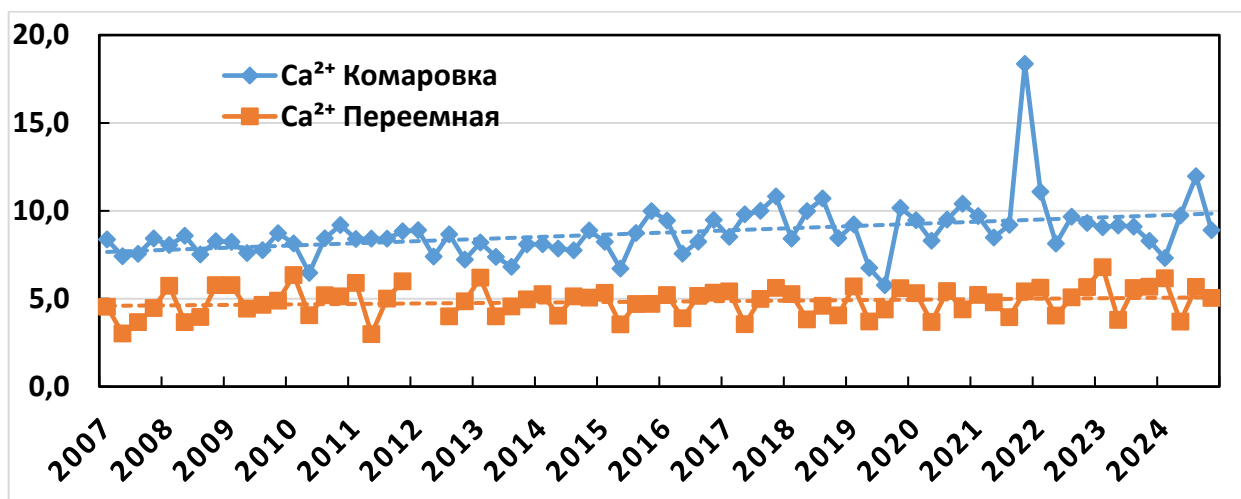


Рис.3.3.9 Тенденции изменения концентраций кальция (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал за 2007-2024 гг.

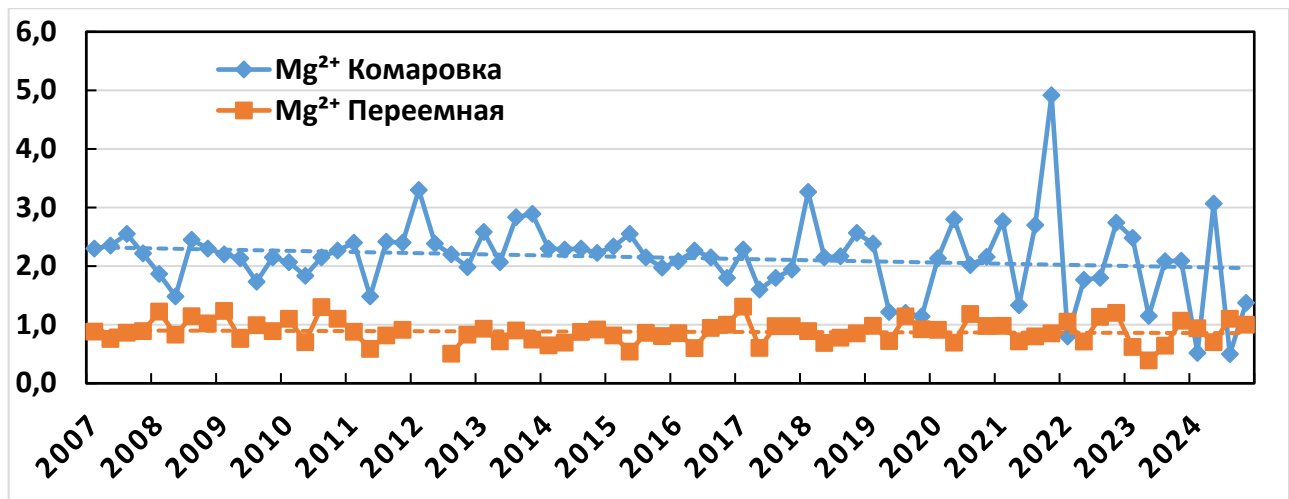


Рис.3.3.10 Изменения концентраций магния (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал за 2007-2024 гг.

Для р. Переемная, среднее содержание ионов кальция и магния составило 5,14 мг/л и 0,93 мг/л, соответственно, что незначительно отличается от средних многолетних значений: 4,84 мг/л для кальция и 0,88 мг/л для магния (Рис. 3.3.9, 3.3.10). Колебания значений концентраций кальция в течение года составили от 3,70 мг/л до 6,16 мг/л. Колебания значений концентраций магния в течение года составили от 0,70 мг/л до 1,10 мг/л. Среднегодовое содержание аммония в воде р. Переемная в 2024 г. было ниже среднего многолетнего значения и составило 0,007 мг/л при колебаниях концентраций в течение года от 0,005 мг/л до 0,008 мг/л (Рис 3.3.11).

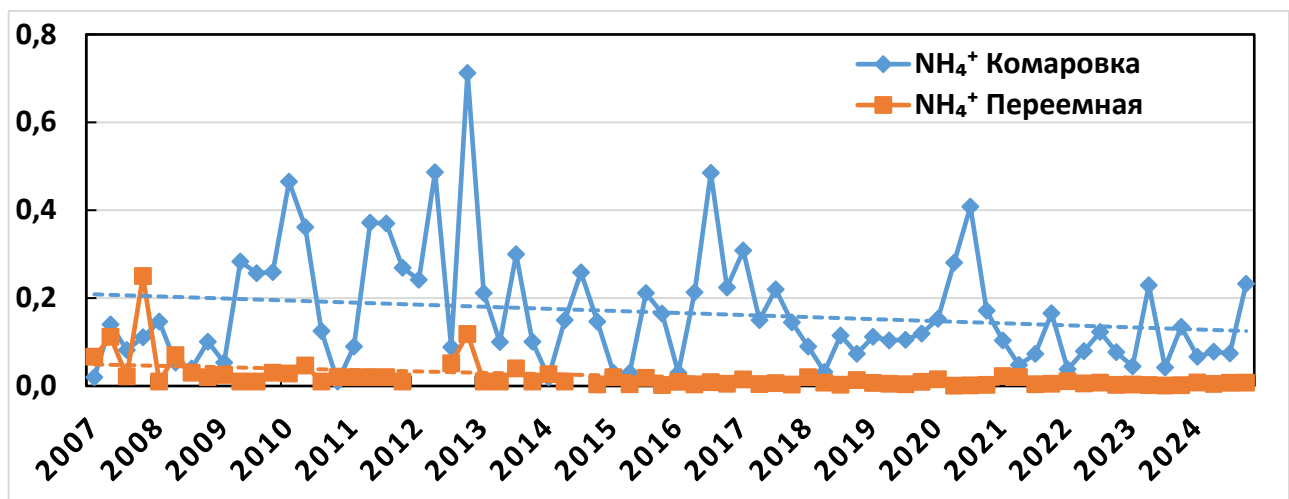


Рис.3.3.11 Изменения концентраций аммония (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал за 2007-2024 гг.

В целом, уровни концентраций ионов кальция, магния и аммония в воде р. Комаровка значительно выше, чем в р. Переемная. Для катионов аммония р. Комаровки также характерна более высокая амплитуда колебаний значений.

Соотношения основных анионов и катионов

При анализе совмещённых годовых ходов концентраций кальция и сульфатов можно отметить, что эквивалентное содержание сульфатов в р. Комаровка более низкое, чем кальция. Уровень концентраций нитратов в водах реки существенно ниже концентраций как кальция, так и сульфатов (рис. 3.3.12).

Минимальные и максимальные значения сульфатов и кальция наблюдаются практически в одни и те же периоды, за исключением последнего года, где наблюдаются расхождения в корреляции. Для р. Комаровка содержание кальция (в эквивалентных единицах) практически всегда было примерно в 1,5–2 раза выше, чем общее содержание сульфатов и нитратов, что обеспечивало близкий к нейтральному рН поверхностных вод (рис. 3.3.12). Но в 2024 году эквивалентное содержание кальция оказалось почти в пять раз выше.

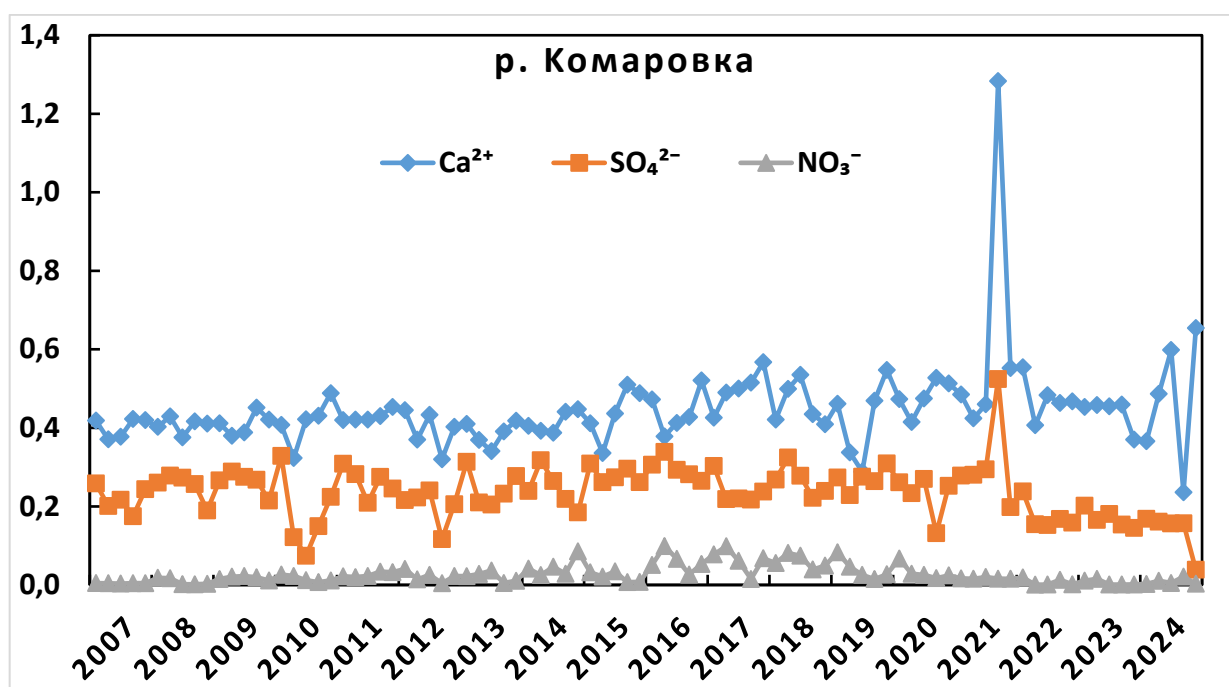


Рис.3.3.12 Динамика согласованного изменения эквивалентных концентраций сульфатов, нитратов и кальция (мэкв/л) в поверхностных водах на станции ЕАНЕТ Приморская в 2007–2024 гг.

Как и в предыдущие годы, в 2024 году в водах р. Переемная преобладающими анионами были сульфаты, а катионами – кальций. При этом в эквивалентных концентрациях соотношение ионов кальция к сульфатам близко к единице. Уровень концентраций нитратов в водах р. Переемная существенно ниже концентраций кальция и сульфатов (рис. 3.3.13).

В течение 2024 года отношение кальция к сумме ионов сульфатов и нитратов (в эквивалентных концентрациях) составляло чуть меньше 1,0. Такое соотношение данных веществ, характерное для вод р. Переемная, является причиной низкой буферной способности к нейтрализации кислотных компонентов. Воды реки оцениваются как неустойчивые к закислению.

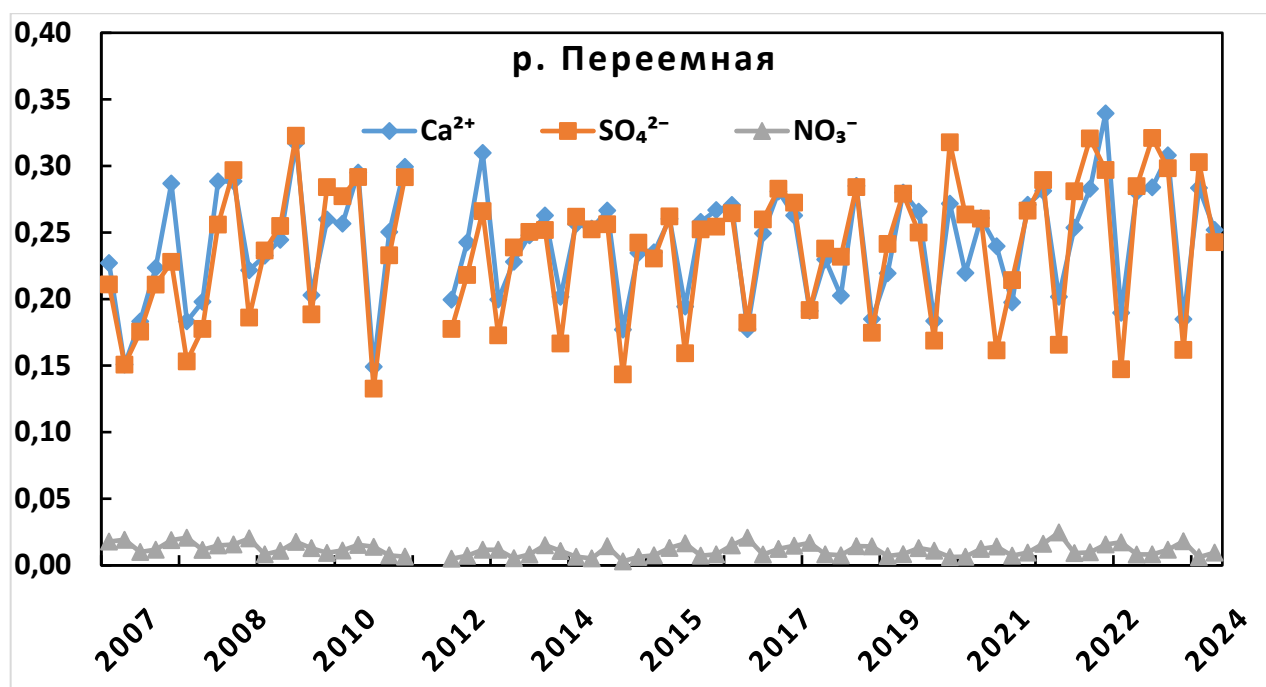


Рис.3.3.13 Динамика согласованного изменения эквивалентных концентраций сульфатов, нитратов и кальция (мэкв/л) в поверхностных водах р. Переемная в 2007–2024 гг.

В целом по результатам фоновых наблюдений за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети ЕАНЕТ, в 2024 году в р. Комаровка (Приморье) содержание всех основных ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Mg^{2+}) за исключением кальция и натрия было ниже средних многолетних значений. При этом значения рН также оказались ниже многолетнего среднего значения. Для реки Переемная концентрации основных ионов, а также показатель рН были на уровне средних многолетних значений.

Тенденции изменения концентраций основных ионов за период 2008–2024 гг.

По осреднённым за пятилетние периоды наблюдений данным отмечается, что для большинства основных загрязняющих веществ значения концентраций выше в водах р. Комаровка. Однако в последние пять лет, в связи со снижением концентраций сульфатов и нитратов в р. Комаровка их содержание сравнялось, что особенно заметно для сульфатов, где в последние два года концентрации сульфатов выше в р. Переемная. Более низкие значения рН также наблюдаются на р. Переемной. В период 2014–2018 гг. на р. Комаровке наблюдалось повышение концентраций сульфатов и нитратов, что отразилось в снижении значений рН в этот период. Для р. Переемной в целом характерна большая стабильность в концентрациях ионов (Рис. 3.3.14).

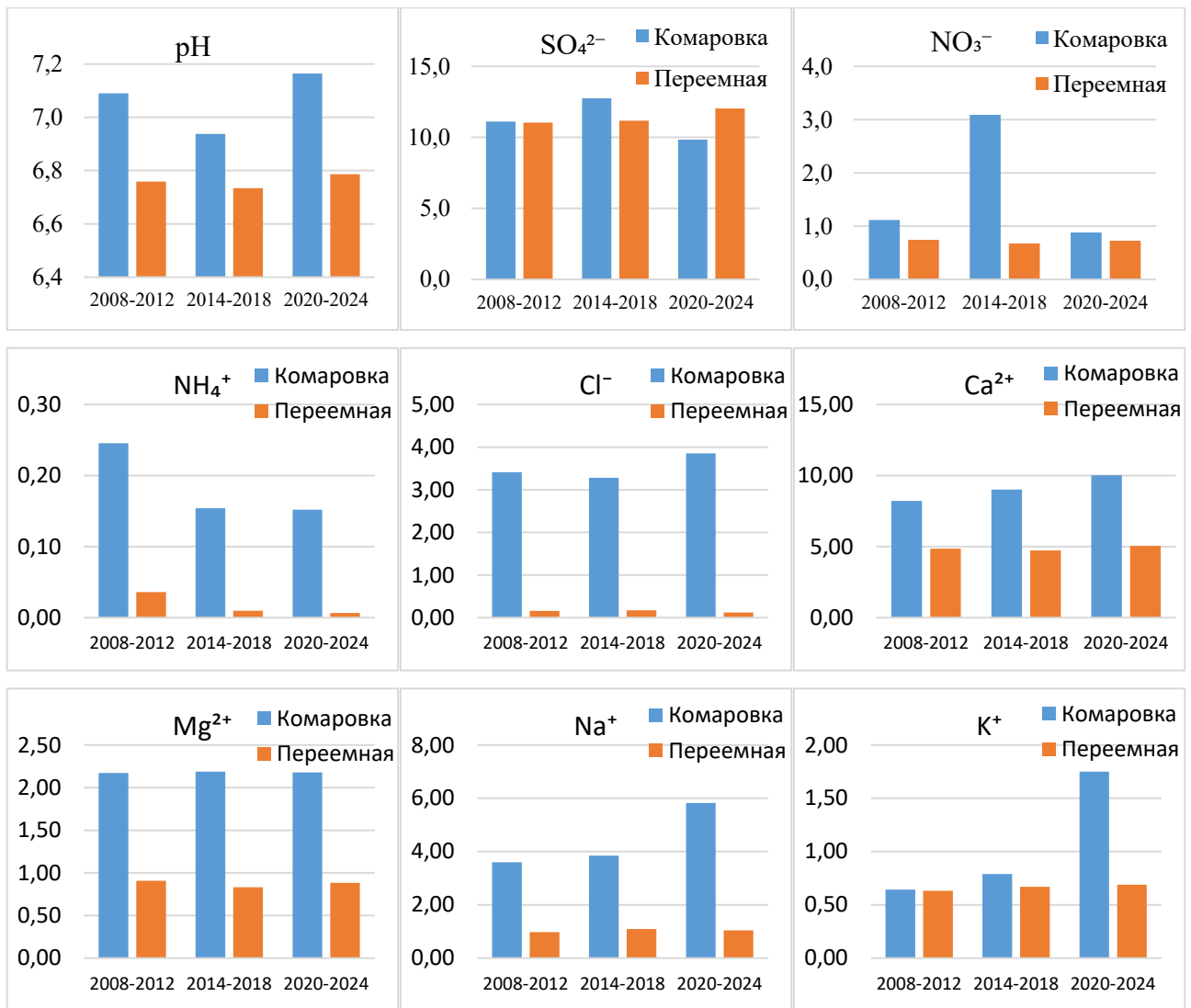


Рис.3.3.14 Сравнение средних пятилетних значений показателя pH и основных ионов (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал за периоды 2008–2012, 2014–2018 и 2020–2024 гг.

3.4. Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям

В 2024 г. фоновые гидробиологические наблюдения осуществлялись на 22 водных объектах, которые соответствуют концепции фоновых участков, из них 10 участков расположены на территории 4 государственных природных, в том числе биосферных заповедников и их охранных зонах: Жигулевский, Лапландский, Усть-Ленский и «Ханкайский», а также в национальных парках «Ануйский» (р. Манома) и «Ленские столбы» (реки Лена и Буотама, несколько пойменных озер).

Баренцевский гидрографический район

Наблюдения в 2024 г. проводились Мурманским УГМС на фоновых участках 4 водных объектов: 3 рек и 1 озеро.

Бассейн реки Туломы: р. Лотта (п. Светлый, устье). В составе фитопланктонного сообщества фонового створа встречено 23 вида (в 2023 г. – 24 вида, в 2022-21 гг. – по 32), принадлежащих к 6 таксономическим группам. Наибольшее разнообразие традиционно принадлежало диатомовым – 9, зеленым – 5 и харовым – 4, синезеленые представлены – 3 видами. Единичными видами были представлены динофитовые и эвгленовые. Количественные характеристики (плотность и биомасса) находились в диапазоне многолетних значений. В пробах наряду с олиготрофными индикаторами присутствовали эвтрофные. Значения индекса сапробности (ИС) в наблюдаемых створах р. Лотта по фитопланктону, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.1.

В составе зоопланктона встречено – 22 вида (в 2020-2023 гг. – по 19-22), из них: 8 видов коловраток (в 2023 г. – 14 видов), 13 – ветвистоусых рачков (в 2023 г. – 3 вида). Веслоногие ракообразные представлены науплиальными и неполовозрелыми стадиями Cyclopoidea и Calanoida. Общая плотность и биомасса организмов находились в диапазоне многолетних наблюдений. Снижение разнообразия коловраток и увеличение ветвистоусых раков, вероятно связаны с сезонной сукцессией зооценоза. Значения ИС в наблюдаемых створах р. Лотта по зоопланктону, а также принадлежность к классам качества воды отражены на рисунке 3.4.1.

В составе зообентоса встречено 7 видов беспозвоночных (в 2023-2022 гг. – по 7 видов в 2022 г. – 4, 2021 г. – 9, в 2020 г. – 11), относящихся к 3 таксономическим группам, из них 4 вида принадлежали к личинкам комаров-звонцов (Chironomidae), малощетинковых червей (Oligochaeta) встречено 2 вида, одним видом представлены двустворчатые моллюски (Bivalvia). Значения биотического индекса (БИ), а также принадлежность вод к классам качества воды отражены на рисунке 3.4.2.

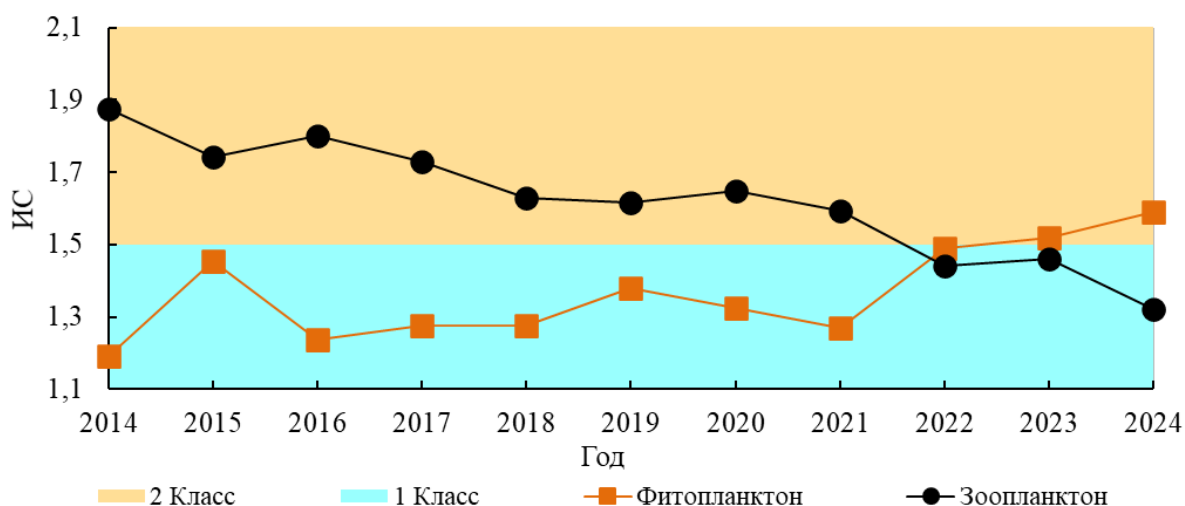


Рис. 3.4.1. Значения ИС в 2014–2024 гг., р. Лотта

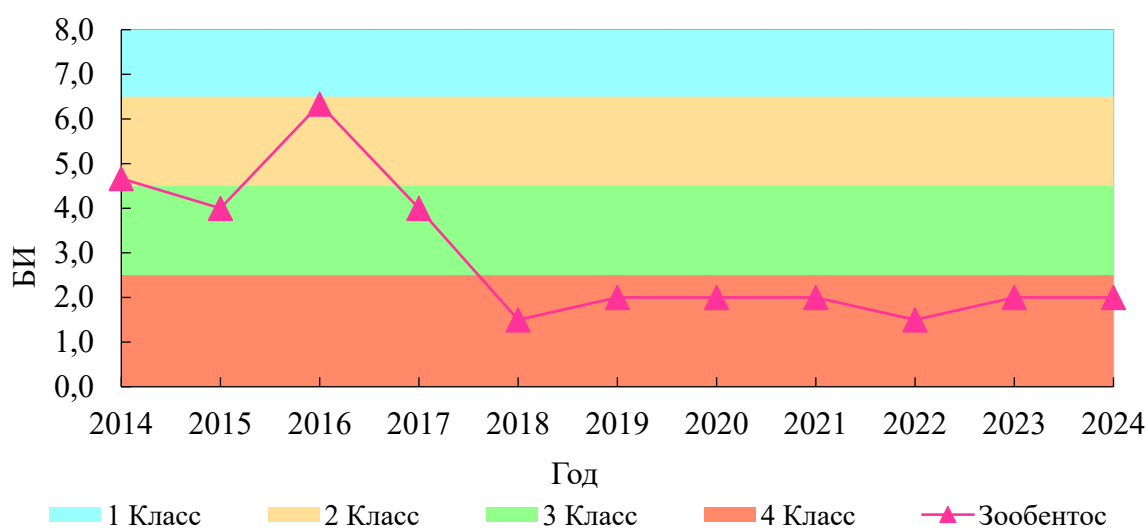


Рис. 3.4.2. Значения БИ в 2014 – 2024 гг., р. Лотта

По показателям фитопланктона и зоопланктона экосистема находится в состоянии антропогенного экологического напряжения. По-прежнему бентофауна в наблюдаемых створах обедненная, представлена олигохетно-хируномидным комплексом с присутствием устойчивых к загрязнению видов-индикаторов.

Бассейн реки Колы: р. Кица (ст. Лопарская, устье). В пробах фитопланктона встречено 27 видов (в 2023 г. – 37 видов, в 2022 г. – 22, в 2021 г. – 45; в 2020 г. – 58; в 2019 г. – 30), которые относились к 6 таксономическим группам, наибольшее видовое разнообразие из которых принадлежало диатомовым водорослям – 10 видов, харовым – 5, зеленым и пиридиновым – по 5 видов, синезеленым – 2 вида, хризомонадовые были представлены одним видом. В последние десятилетия наблюдений состав фитопланктона в фоновом створе меняется с олиготрофного на эвтрофный, смена качественных характеристик идет с возрастанием колебаний диапазона всех параметров развития. Общая плотность и биомасса водорослей не достигали высоких значений и не превышали характеристики, отмеченные в 2023 г. Значения ИС в наблюдаемых створах р.

Кица по фитопланктону, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.3.

В составе зоопланктона отмечено 13 видов (в 2023 г. – 19 видов), из них: 11 коловраток, ветвистоусые и веслоногие ракообразные представлены науплиальными и копеподитными стадиями. Общая плотность близка к таковой в 2023 г., значение биомассы ниже в два раза, но лежала в диапазоне многолетних наблюдений. Значения ИС в наблюдаемых створах р. Кица по зоопланктону, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.3.

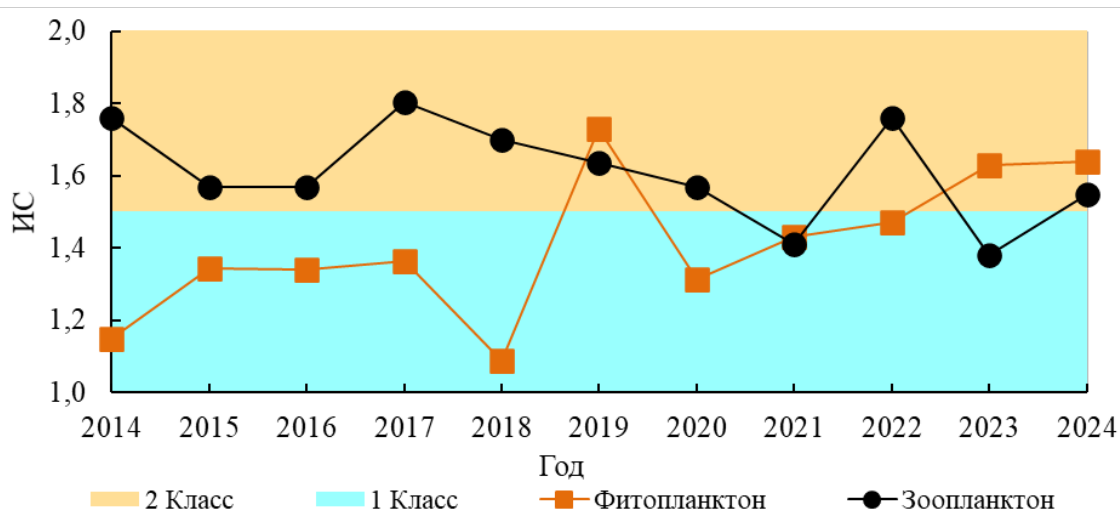


Рис. 3.4.3. Значения ИС за 2014–2024 гг. р. Кица.

В составе зообентоса реки встречено 25 видов (в 2020 г. – 18, в 2021 г. – 22, 2022 г. – 6, в 2023 г. – 16), относящихся к 6 таксономическим группам. Наибольшее видовое разнообразие принадлежало малощетинковым червям и комарам-звонцам – по 7 видов, ручейники – 4 вида, поденки – 3 вида, моллюски, жесткокрылые и комары дергуны представлены единичными видами. В августе отмечали максимальные значения плотности и биомассы. Значения БИ в наблюдаемых створах р. Кица по зообентосу, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.4.

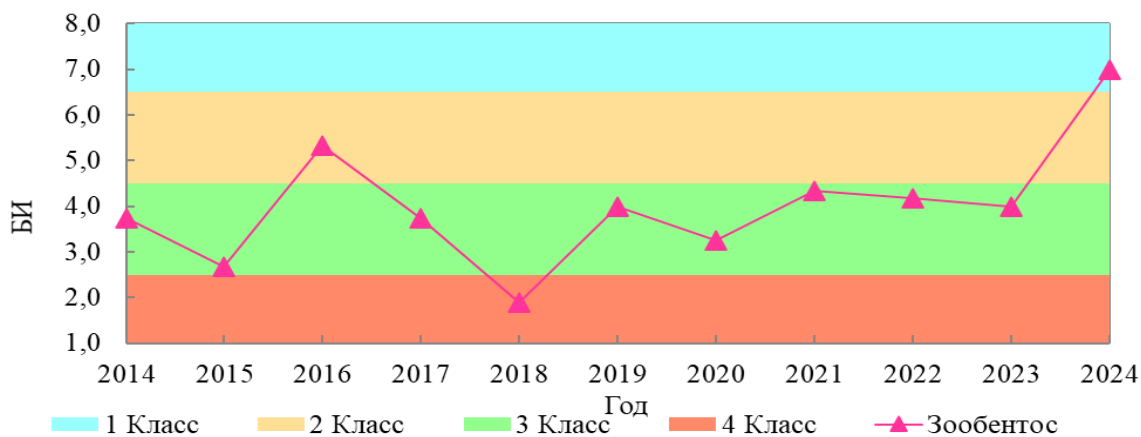


Рис. 3.4.4. Значения БИ за 2014–2024 гг. р. Кица

Наблюдения 2024 г. показали, что экосистема реки по-прежнему находится в состоянии антропогенного напряжения без явных трендов изменения.

Лапландский биосферный заповедник. На территории биосферного заповедника находится оз. Чуозеро, а также р. Витте – на границе заповедника. Организованного сброса в эти водные объекты нет. Гидробиологические наблюдения на створах у границ заповедника проводились с июня по сентябрь.

В устье р. Вите в 2024 г. отмечено максимальное разнообразие фитопланктонного сообщества за период наблюдений, здесь встречено 46 видов (в 2023 г. – 37 видов; в 2022 г. – 27; в 2021 г – 36; в 2020 г. – 41; 2019 г. – 33), которые относились к 7 таксономическим группам, наибольшее видовое разнообразие из которых принадлежало отделу диатомовых водорослей – 16 видов, харовых – 11, зеленых – 9. Синезеленые представлены 4-мя видами, по 3 вида принадлежало к динофитовым и золотистым водорослям. Значения ИС в наблюдаемых створах реки по показателям фитопланктона, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.5.

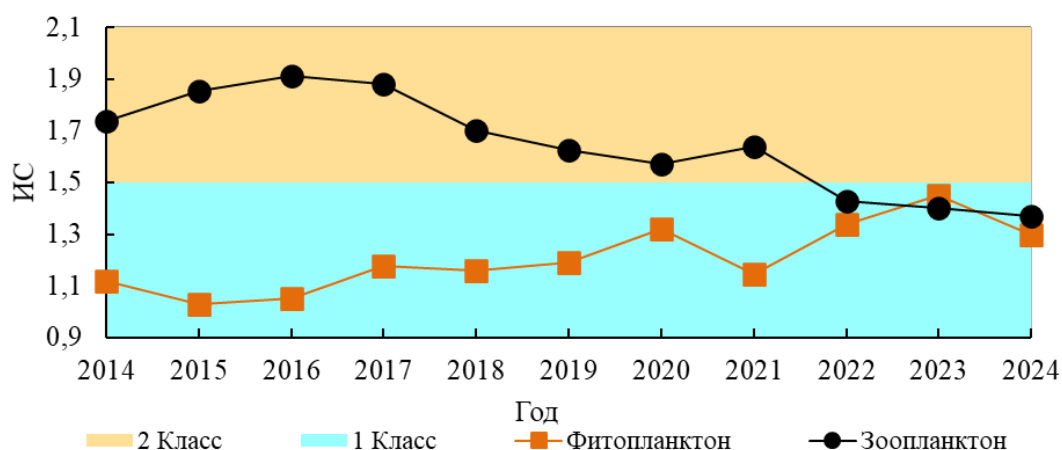


Рис. 2. Значения ИС в 2014–2024 гг., р. Вите

В составе зоопланктона, встречено 23 вида беспозвоночных (в 2023 г. – 26 видов, в 2022 г. – 23, в 2021 г. – 29, в 2020 г. – 23, в 2019 г. – 19), из которых: 15 – коловратки, 7 – ветвистоусые раки, 1 – веслоногие. В июне высокие значения плотности и биомассы были сформированы коловратками, в сентябре – отмечали высокое разнообразие ветвистоусых раков, крупные Cladocera сформировали максимальную биомассу сообщества. Во все периоды наблюдений обнаруживались науплии веслоногих ракообразных. Полученные результаты по биомассе ниже 2023 г. и соответствовали уровню значений в последний период наблюдений. Значения ИС в наблюдаемых створах р. Вите по зоопланктону, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.5.

В составе зообентоса реки встречено 22 вида (в 2023 г. – 15 видов; в 2022 г. – 22; в 2021 г. – 21), принадлежащих к 6 таксономическим группам. Наиболее разнообразная группа – комары-

звонцы – 6 видов, малощетинковые черви и ручейники были представлены по 5 видов, единичными видами представлены моллюски, поденки и веснянки. В пробе отмечали 8-13 видов. Значения БИ в наблюдаемых створах р. Вите по зообентосу, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.6.

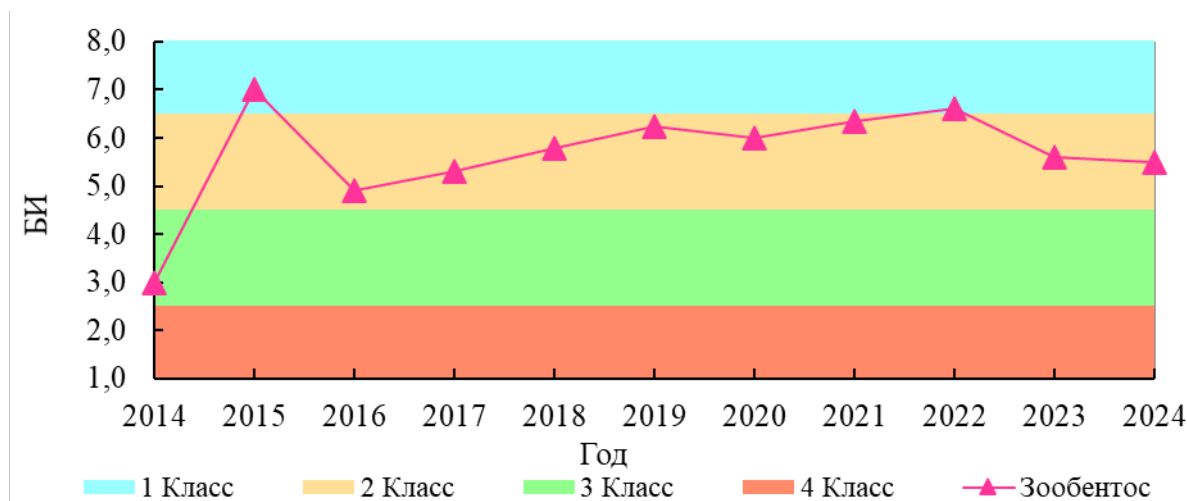


Рис. 3.4.6. Значения БИ в 2014–2024 гг., р. Вите

На основании проведенных наблюдений по гидробиологическим показателям экосистема р. Вите находится в состоянии антропогенного экологического напряжения.

Исток р. Нижней Чуны из оз. Чунозеро. В фитопланктоне встречено 48 видов (в 2023 г. – 37 видов; в 2022 г. – 33; в 2021 г. – 38; в 2020 г. – 34; 2019 г. – 46), которые относились к 6 таксономическим группам, наибольшее видовое разнообразие принадлежало отделу диатомовых водорослей – 18 видов, золотистых – 10 видов, динофитовых – 7 видов и зеленых – 6, синезеленых – 4 и харовых – 3 вида. Количественные характеристики близки к прошлогодним и относительно стабильны. Общая плотность и биомасса водорослей находилась в диапазоне многолетних наблюдений. Разнообразие варьировало 20–29 видов на пробу. Диатомовый комплекс доминировал только в июне. В июле и августе по плотности преобладали синезеленые. Значения ИС в наблюдаемых створах реки по показателям фитопланктона, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.7.

В составе зоопланктона встречено – 18 видов (в 2023 г. – 37 видов; в 2022 г. – 28; в 2021 г. – 31). Основу видового разнообразия зоопланктона формировали коловратки, на долю которых приходился – 12 видов. Ветвистоусые раки представлены – 6 видами. Веслоногие ракообразные представлены науплиальными и копепоидитными стадиями. Количественные характеристики значительно ниже прошлогодних. Массового развития в июне достигали науплии веслоногих 49% ОЧ. Значения ИС в наблюдаемом створе истока из оз. Чунозеро по фитопланктону, а также принадлежность вод к классам качества отражены на рисунке 3.4.7.

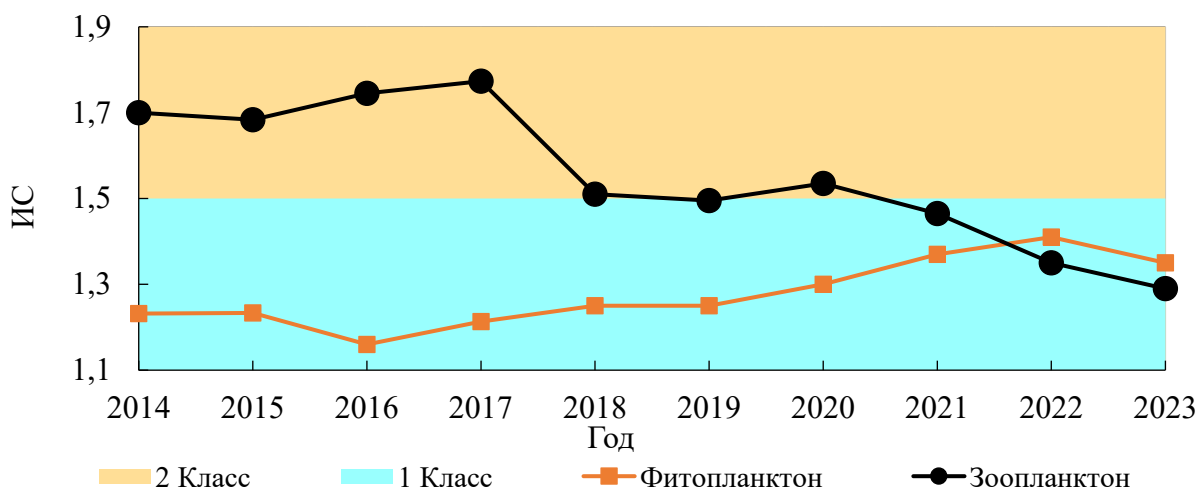


Рис. 3.4.7. Значения ИС в 2014–2024 гг., исток р. Нижняя Чуна из оз. Чунозеро

В составе зообентоса у истока р. Нижняя Чуна встречено 10 видов донных беспозвоночных (в 2023 г. – 11; в 2022 г. – 19; в 2021 г. – 20), относящихся к 4 таксономическим группам. Традиционно максимального видового разнообразия достигали комары-звонцы – 4 вида и малощетинковые черви – 3 вида, двустворчатые моллюски были представлены двумя видами, один вид принадлежал к комарам-дергунам. Основу плотности формировали личинки комаров-звонцов и мокрецов. Значения общей плотности невысоки, аналогичны значениям 2022 г. На рисунке 3.4.8. отражены значения БИ в 2014–2023 гг., а также класс качества воды.

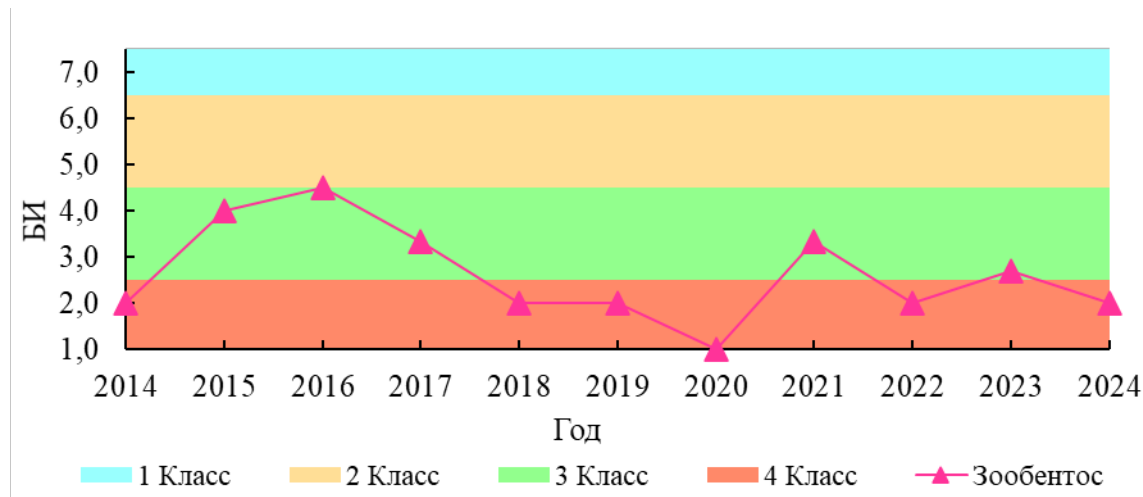


Рис. 3.4.8. Значения БИ в 2014–2024 гг., исток р. Нижняя Чуна из оз. Чунозеро

На основании проведённых наблюдений по гидробиологическим показателям экосистемы всех наблюдаемых фоновых объектов Баренцевского гидрографического района находятся в состоянии антропогенного экологического напряжения, тенденций изменения состояния фоновых объектов не выявлено.

Балтийский гидрографический район

Наблюдения в 2024 г. проводились Северо-Западное УГМС на реке Шуя (Республика Карелия) по показателям макрозообентоса.

Бассейн Онежского озера: Река Шуя (нижнее течение и устье). В 2024 г. в составе зообентоса реки встречено 11 видов (в 2023 г. – 11 видов, в 2022 г. – 13 видов, в 2021 г. – 19 видов, в 2020 г. – 24, в 2019 г. – 28, в 2018 г. – 33), относящихся к 6 таксономическим группам. Из них: личинки ручейников и подёнок – по 3 вида, малощетинковых червей – 2 вида, по одному виду комаров-звонцов, стрекоз, моллюсков. Видовое разнообразие варьировало в пробе от 1 до 3.

В фоновом створе встречались подёнки и ручейники – по 2 вида, а также комары-звонцы – 1 вид. В устье реки встречались представители: ручейники – 2 вида, комары-звонцы, подёнки, моллюски и стрекозы – были представлены по 1 виду.

Значения БИ в 2014–2024 гг., а также принадлежность вод к классам качества по показателям зообентоса представлены на рисунке 3.4.9.

Экосистема реки находится в состоянии антропогенного экологического напряжения.

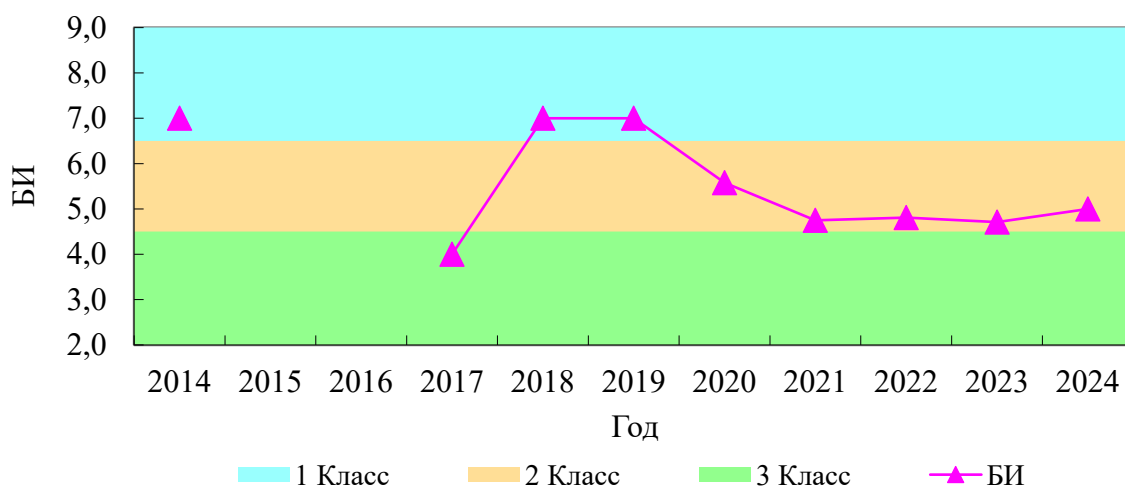


Рис. 3.4.9. Значение БИ в 2009–2024 гг., р. Шуя

Каспийский гидрографический район

В бассейне Средней Волги гидробиологический мониторинг за фоновыми объектами производился на территории Жигулевского биосферного заповедника им. И.И. Спрыгина, **озеро Кольчужное**. Озеро расположено на острове Середыш в Саратовском водохранилище. Наблюдения проводятся с 2017 г. по показателям фитопланктона, зоопланктона, перифитона и зообентоса.

В составе фитопланктона оз. Кольчужное в 2024 г. встречено 45 видов (в 2023 г. – 52 вида) из 6 отделов, из них диатомовые – 27, зеленые – 10, синезеленые – 4 вида, криптофитовые – 2

вида, динофитовые и золотистые – по 1 виду. Весной доминировали золотистые водоросли, летом – диатомовые и синезеленые, осенью – синезеленые водоросли. Количественные показатели фитопланктона по сравнению с 2023 г. не претерпели значительных изменений.

В сообществе перифитона встречено 34 вида (2023 г. – 63 вида). В фитоперифитоне во все сезоны по плотности доминировали диатомовые водоросли. Из зооперифитона летом и осенью присутствовали нематоды и комары-звонцы.

В зоопланктоне озера встречено 17 видов (в 2023 г. – 33 вида), из них: коловраток – 3, ветвистоусых ракообразных – 6, веслоногих – 8. Весной в планктоне преобладали – ветвистоусые (53%), летом – веслоногие ракообразные (65%), осенью – коловратки (82%). Количественные показатели зоопланктона по сравнению с 2023 г. не претерпели значительных изменений.

В сообществах зообентоса встречено 16 видов (в 2023 г. – 13 видов), из 7 групп: моллюски – 6 видов (из них по 3 вида двустворчатых и брюхоногих моллюсков), комары-звонцы – 5 видов, малощетинковые черви – 2 вида, равноногие раки, веснянки, водяные клещи – по 1 виду. Весной и осенью доминировали моллюски (43% и 47% от общей плотности), летом – комары-звонцы (78%). Количественные показатели зообентоса по сравнению с 2023 г. не претерпели значительных изменений.

Экосистема находится в состоянии антропогенного напряжения.

Восточно-Сибирский гидрографический район

Фоновые наблюдения за состоянием вод бассейна реки Лены проводили в границах Усть-Ленского государственного природного заповедника в одном из рукавов дельтовой части реки по показателям зообентоса, полярной станции Хабарова, у о. Столб, на о. Самойловский, а также в ходе экспедиционных обследований проведены наблюдения в национальном парке «Ленские столбы».

Дельта р. Лена, Усть-Ленский государственный природный заповедник

Качественный состав зообентоса реки в районе о. Столб Хабарова представлен 10 видами (в 2023 г. – 14 видами) из 4 групп: малощетинковые черви (*Oligochaeta*) – 5 видов, комары-звонцы (*Chironomidae*) и брюхоногие моллюски (*Gastropoda*) – по 2 вида, многощетинковые черви (*Polychaeta*) представлены единственным видом. Число видов в пробе варьировало от 2 до 5. В связи с экстремальными условиями обитания и значительной глубиной промерзания водотока в зимний период (до 2 м), в прибрежном мелководье не формируются сообщества донных беспозвоночных, они представлены сезонными когортами, сформированными случайным набором видов. Спорадическая встречаемость здесь представителей зообентоса является ответной реакцией на изменение агрегатного состояния среды обитания и не отражает уровень антропогенной нагрузки на водный объект. В связи с этим оценочные характеристики качества воды по БИ, отраженные на рисунке X.10, дают необоснованное занижение качества воды в связи с отсутствием

индикаторных видов.

Значения БИ в 2014–2024 гг. приведены на рисунке 3.4.10.

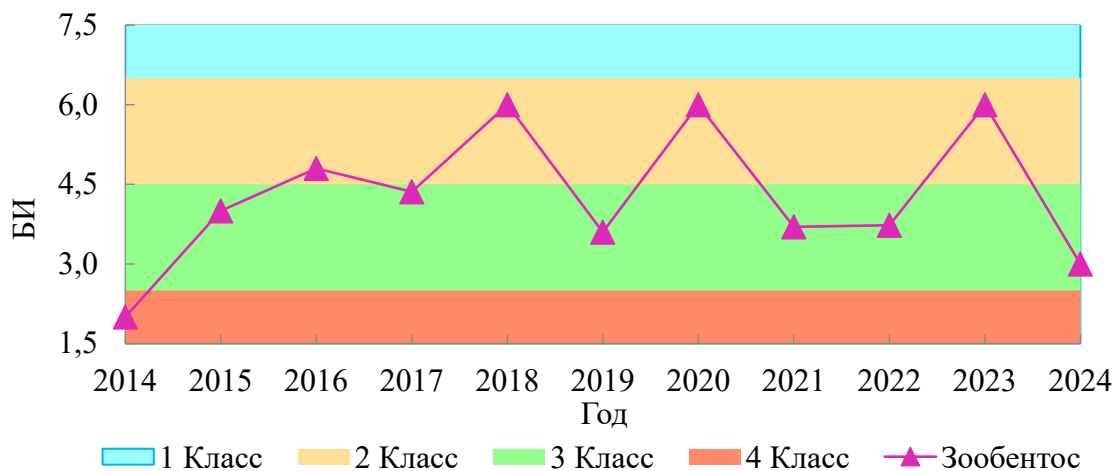


Рис. 3.4.10. Значения БИ в 2014–2024 гг., р. Лена, ст. Хабарова

В 2024 г. проведены рекогносцировочные исследования фауны зообентоса пойменных полигональных водоемов в пределах Усть-Ленского государственного природного заповедника на о. Самойловский – озера №№ 1, 2, 4 и 6, а также в одном из рукавов дельтовой части реки Лена в протоке Оленёкская.

Фауна донных беспозвоночных в водных объектах Усть-Ленского заповедника на о. Самойловский насчитывала 23 вида и формы донных беспозвоночных, относящихся к 10 таксономическим группам, среди которых наибольшим числом видов традиционно были представлены комары-звонцы – 8 и малощетинковые черви – 6 видов, остальные группы – брюхоногие моллюски, ручейники, жуки, мокрецы, мизиды, равноногие раки, бокоплавцы и кишечнополостные были представлены единичными видами. Распределение видового разнообразия макрозообентоса в р. Лена и ее пойменных водоемах имело критические различия. Так, в протоке Оленекская встречено 6 видов и форм донных беспозвоночных, в то время как в водоемах суммарно зарегистрировано 20 видов (вариации по водным объектам лежали в диапазоне от 6 до 15 видов). Качество воды в хорошо прогреваемых водоемах было выше и соответствовало *слабо загрязненным* водам, в пр. Оленекской – *грязным* водам. Как неоднократно отмечалось ранее, традиционная методика определения качества воды в арктической зоне с коротким арктическим летом не отражает действительного качества воды этих водных объектов в силу различных причин. Низкое качественное разнообразие в р. Лена связано, прежде всего, с низкими температурами летом, его короткой продолжительностью, отсутствием макрофитов, превалированием песков. Перечень встреченных видов и их распространение по водным объектам, а также оценка качества воды приведены в таблице 3.4.1.

Таблица 3.4.1. Перечень встреченных видов и их распространение по исследованным водным объектам о. Самойловский в границах государственного Усть-Ленского заповедника, а также оценка качества воды

Названия строк	Водный объект	
	пойменные озера	р. Лена (Оленекская протока)
Тип Coelenterata		
<i>Hydra stellata</i> Schulze, 1914	+	
Тип Annelida		
Класс Oligochaeta		
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparède, 1862	+	
<i>Limnodrilus udekemianus</i> Claparède, 1862	+	+
<i>Nais pardalis</i> Piquet, 1906	+	
<i>Potamothrix hammoniensis</i> (Michaelsen, 1901)	+	
<i>Spirosperma ferox</i> Eisen, 1879	+	
<i>Stylodrilus heringianus</i> Claparède, 1862	+	
Тип Mollusca		
Класс Gastropoda		
<i>Kolhymirbis shadini</i> Starobogatov et Streletzkaja, 1967	+	
<i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)	+	
Тип Artropoda		
Класс Insecta		
отр. Diptera		
Сем. Ceratopogonidae		
<i>Clinohelea unimaculata</i> (Macquart, 1826)		+
Сем. Chironomidae		
<i>Chironomus sp. plumosus</i> (Linnaeus, 1758)	+	
<i>Corynoneura scutellata</i> Winnertz, 1846	+	+
<i>Cricotopus flavocinctus</i> (Kieffer, 1924)	+	
<i>Cricotopus sylvestris</i> (Fabricius, 1794)	+	
<i>Cryptochironomus obreptans</i> (Walker, 1856)		+
<i>Eukiefferiella coerulescens</i> (Kieffer, 1926)	+	+
<i>Polypedilum scalaenum</i> (Schrank, 1803)	+	
<i>Tanytarsus pallidicornis</i> (Walker, 1856)	+	
Отр. Coleoptera		
<i>Ilybius fuliginosus</i> (Fabricius, 1792)	+	
Отр. Trichoptera		
<i>Brachycentrus subnubilus</i> Curtis, 1834	+	
Класс Crustacea		
отр. Amphipoda		
<i>Synurella jakutana</i> (Martynov, 1931)	+	
отр. Isopoda		
<i>Asellus martynovi</i> Birstein, 1947	+	
отр. Mysidacea		
<i>Mysis relicta</i> Lovén 1862		+
Всего видов	6-15	6
Класс качества воды	2	4

Качество вод реки по гидробиологическим показателям в 2024 г. находилось на уровне среднемноголетних значений. Состояние экосистемы дельтовой части р. Лены следует рассматривать как экологическое благополучие.

р. Суонаннах (р. Колчик-Юрэгэ, п. Полярка). Наблюдения проведены по показателям зообентоса.

Зообентос реки в 2024 г. был представлен 16 видами донных беспозвоночных (в 2023 г. – 17 видами; в 2022 г. – 7 видами; в 2021–2020 гг. – 6 видов, в 2019–2018 гг. – 7), относящихся к 8 таксономическим группам, среди которых наибольшего видового разнообразия традиционно достигали комары-звонцы – 7, ручейников и малощетинковых червей – по 2 вида, веснянки, поденки, мошки, жуки и атерициды – были представлены единичными видами. Количественные характеристики зообентоса по сравнению с 2014–2023 гг. не претерпели значительных изменений. Значения БИ представлены на рисунке 3.4.11.

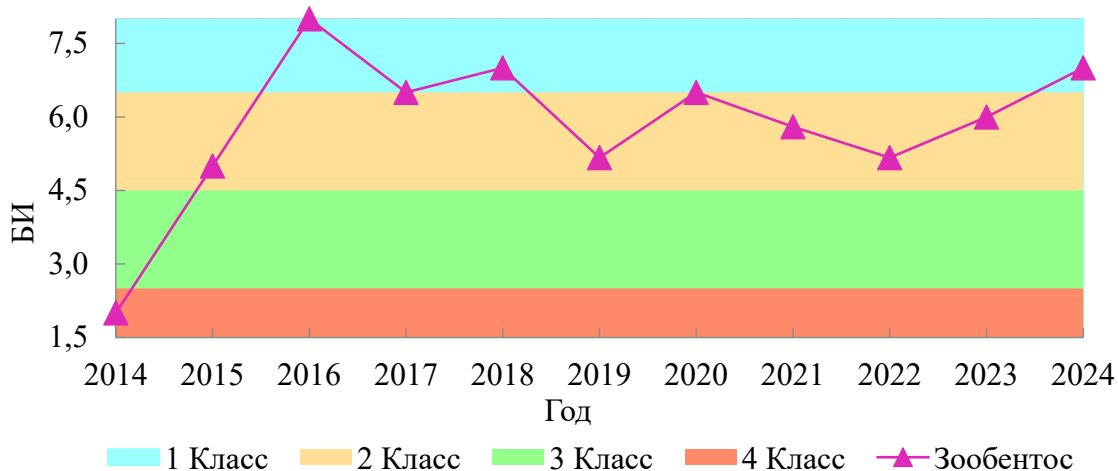


Рис. 3.4.11. Значения БИ в 2014–2024 гг., р. Суонаннах (Копчик- Юрэгэ)

По наблюдаемым показателям состояние биоценоза р. Суонаннах находится в состоянии экологического благополучия. Качественная и количественная бедность биоценозов обусловлена коротким вегетационным сезоном и низкой первичной продукцией водотока, именно по этой причине здесь распространены короткоцикловые виды гидробионтов, в то же время неоднородность сообществ определяется не столько антропогенными факторами, сколько критическими климатическими условиями природной среды.

Национальный парк «Ленские столбы». В среднем течении в реки Лена в районе национального парка «Ленские столбы» в составе зообентоса встречено 23 вида и группы видов донных беспозвоночных. В качестве фонового участка выбран правобережный участок реки, прилегающий к национальному парку «Ленские столбы», в качестве створа сравнения левобережная станция у причала в п. Булгунняхтах. Количество видов в пробах фонового участка в период исследований составило 7 в створе сравнения – 6 видов. Класс качества воды на фоновом участке соответствовал условно чистым водам в створе сравнения – слабо загрязненным. Сообщество зообентоса в фоновом створе формировали поденки соскребатели – *Rhithrogena (C.) cava* – формируя 52 % биомассы. В створе сравнения сообщество сформировано 2 со-доминирующими поденками соскребателями *Ephemerella lepnevae* Tshernova, 1949 и *Brachycercus harrisella* Curtis, 1834 составляющих соответственно 31 и 25% общей биомассы пробы.

Качественное разнообразие донных беспозвоночных в водных объектах национального парка «Ленские столбы» было несравнимо выше. Наибольшее число видов встречено в р. Буотама и пойменном озере 1 – 32 и 28 видов и групп видов соответственно, минимальное – в озере 2 и р. Лена – 20 и 23 вида соответственно.

К группам с высоким видовым разнообразием относятся: двукрылые – 30 видов, в том числе: личинкам комаров-звонцов – 27 видов, мошки – два и земноводные комары семейства диксида – один вид; моллюски – 15 видов, в том числе: брюхоногие – 12 и двустворчатые – 3; малощетинковые черви – 13 видов, подёнки – 8, личинки стрекоз и веснянок – по 4 вида, ручейники три вида, клопы – два, жуки и пиявки по одному виду.

Река Буотама. В р. Буотама оценка качества воды по показателям зообентоса проводилась вдоль водотока. В составе зообентоса реки в 2024 г. встречено 23 вида, относящихся к 8 таксономическим группам. К группам с высоким видовым разнообразием относятся: комары-звонцы – 11 и поденки – 6, двустворчатые моллюски, малощетинковые черви, стрекозы, веснянки, ручейники, жуки были представлены единичными видами. Количество видов в пробе варьировало от 11 до 16 в зависимости от гидрологической обстановки и скорости течения на станции. Класс качества воды в период исследований на всех исследованных створах соответствовал *условно чистым*. Биомасса зообентоса по станциям варьировала от 0,33 г/м² в районе 2 створа до 1,33 г/м² на устьевом участке реки. В зоне исследований река характеризовалась незначительными глубинами до 0,5 м, а дно выстлано промытыми аллювиальными песками с каменисто-булыжниковой отмосткой. В пробах по биомассе доминировали поденки соскребатели – *Rhithrogena (C.) cava* (Ulmer, 1927), их доля в биомассе по станциям варьировала от 83 до 88%.

Карский гидрографический район

Бассейн оз. Байкал, река Джида. В 2024 г. в составе фитопланктона встречено 36 видов и вариантов (в 2023 г. – 34 вида), в составе 3 отделов. Наибольшим видовым разнообразием характеризовались диатомовые водоросли – 32, зелёные – 3 видами, синезелёные водоросли – представлены одним видом. Основу фитопланктона формировали диатомовые водоросли. Число видов в пробе варьировало от 19 до 23. Максимальные значения плотности и биомассы зарегистрированы в октябре, минимальные – в июне. Среди встреченных видов индикаторов отмечены: χ , α , β -сапробионты. Значения индекса сапробионности и принадлежность к классу качества воды отражено на рисунке 3.4.12.

В 2024 г. в составе зоопланктона встречено 3 вида (2023 г. – 8). Видовое разнообразие в основном состояло из коловраток – 3 вида, но также наблюдалось небольшое количество веслоногих раков в науплиальной стадии развития. Значение ИС отражено на рисунке 3.4.12.

В составе зообентоса встречено 3 вида (2022 г. – 9) из следующих таксономических групп:

поденки, стрекозы и комары звонцы. Число видов в пробе не превышало 3. Значение БИ и принадлежность к классу качества воды отражено на рисунке 3.4.13.

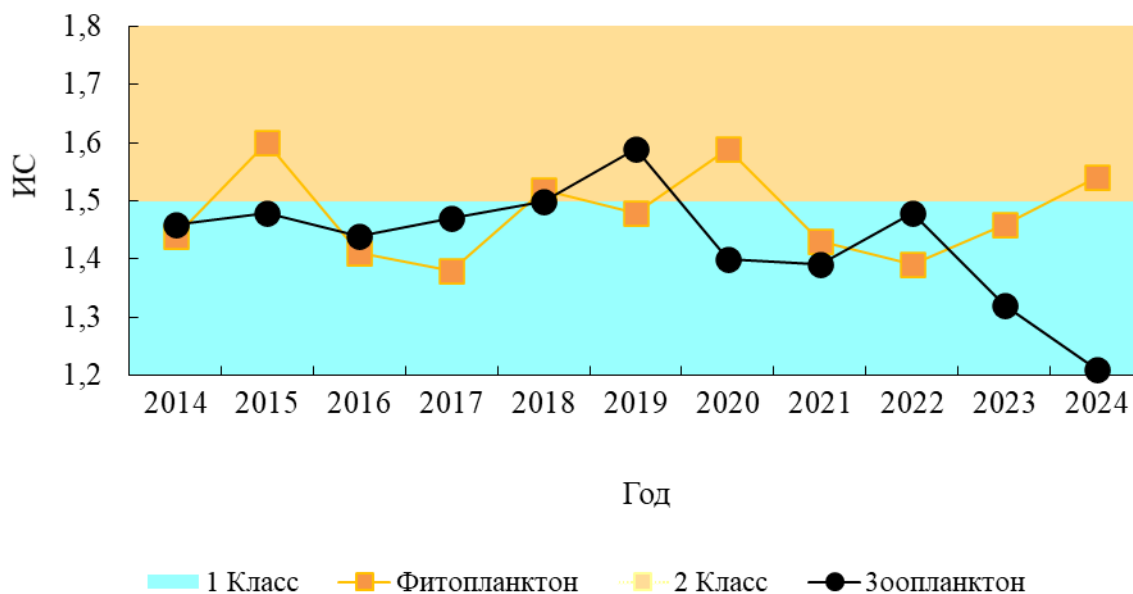


Рис. 3.4.12. Значения ИС в 2014–2024 гг. р. Джиды

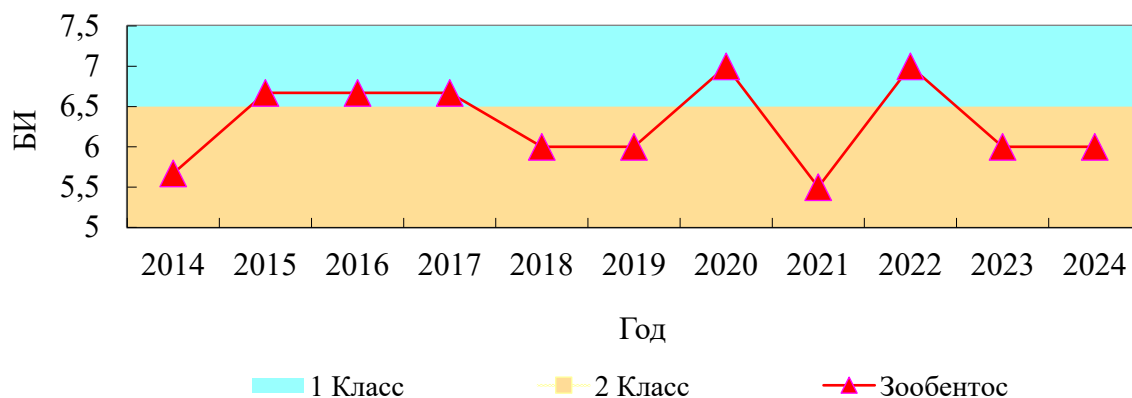


Рис. 3.4.13. Значения БИ в 2014–2024 гг. р. Джиды

Результаты гидробиологических наблюдений позволяют заключить, что экосистема реки находится в состоянии экологического благополучия с элементами антропогенного экологического напряжения.

Тихоокеанский гидрографический район

Национальный парк «Ануйский», р. Манома. Наблюдения проводятся с 2022 г. по показателям макрозообентоса. В 2024 г. в составе зообентоса реки встречено 36 видов донных беспозвоночных (в 2023 г. – 36, 2022 – 51), которые относились к 14 таксономическим группам: поденки – 6 видов, ручейники – 5 видов, веснянки и малощетинковые черви – по 4 вида, стрекозы,

пиявки и брюхоногие моллюски – по 3 вида, болотницы – 2 вида, по одному виду бокоплавов, комаров-звонцов, жуков, клопов, двустворчатых моллюсков, плоских червей. Число видов в пробе варьировало от 12 до 16. Основу плотности формировали моллюски (31%) и пиявки (18%), основу биомассы формировали брюхоногие и двустворчатые моллюски (91%). Максимальные значения количественных и качественных показателей зообентоса отмечены в мае.

Экосистема реки находится в состоянии экологического благополучия.

Озеро Ханка. Наблюдения проводили на 3 створах в районе сел Астраханка, Троицкое и Камень-Рыболов.

В 2024 г. в составе зообентоса встречено 36 видов (в 2023 г. – 27 видов; в 2022 г. – 35 в 2014 г – 7), относящихся к 10 таксономическим группам. Максимальное качественное разнообразие традиционно принадлежало комарам-звонцам – 11, малощетинковые черви и ракообразные – были представлены каждый по 5 видов, меньшим числом видов были представлены поденки и брюхоногие моллюски – по 4 вида, единичными – группы ручейников, клопов и стрекоз – по 2 вида, а также пиявки – 1. Качество вод в оз. Ханка остается неизменным с 2014 г., значения БИ лежали в диапазоне от 2 до 8 баллов, преобладали характеристики *слабо загрязненных* вод.

Река Комиссаровка

Наблюдения проводились на одном створе в районе с. Троицкое.

В 2024 г. в составе зообентоса встречено 28 видов (в 2023 г. – 21 вид) донных беспозвоночных, относящихся к 9 таксономическим группам. Максимальное качественное разнообразие традиционно принадлежало комарам-звонцам – 10 и малощетинковым червям – 7, меньшим числом видов были представлены ракообразные, стрекозы, поденки и брюхоногие моллюски – по 2 вида, единичные виды встречены в группах ручейников, пиявок и клопов – по 1 виду. Значение БИ составило 8 баллов, что соответствовало характеристике условно чистых вод.

Заключение

Таким образом, в Баренцевском, Балтийском, Каспийском, Карском Восточно-Сибирском и Тихоокеанском гидрографических районах на всех 22 фоновых участках выбранных водных объектов экосистемы в 2014–2024 гг. не претерпели серьезных изменений, вариации качества воды лежали в пределах одного класса качества вод.

Состояние экологического благополучия характерно для 15 из 22 фоновых участков. В восьми наблюдаемых фоновых пунктах (р. Манома, Джида, Суонаннах, Лена (дельта, среднее и нижнее течение) и оз. Ханка в районе биосферного заповедника «Ханкайский») не выявлены признаки негативного антропогенного воздействия. Экосистемы наблюдаемых фоновых объектов в Европейской части России, в Баренцевском, Балтийском и Каспийском гидрографических районах находятся в состоянии антропогенного экологического напряжения.

4. МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ

4.1 Березинский биосферный заповедник (Республика Беларусь)

Мониторинг атмосферного воздуха на станции фонового мониторинга в Березинском заповеднике организован с целью получения информации о региональном фоновом состоянии атмосферного воздуха. Основная роль в формировании уровня загрязнения воздуха принадлежала региональному и глобальному переносу.

Общая оценка состояния атмосферного воздуха. По результатам стационарных наблюдений, в 2024 г. содержание в атмосферном воздухе серы диоксида и твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) незначительно увеличилось, твердых частиц, фракции размером до 10 мкм (далее – ТЧ10) – сохранилось на уровне предыдущего года.

Согласно рассчитанным значениям индекса качества атмосферного воздуха (далее – ИКАВ), состояние воздуха в 2024 г. оценивалось, в основном, как очень хорошее и хорошее. Доля периодов с умеренным и удовлетворительным уровнями загрязнения воздуха была незначительна. Такие периоды были связаны с увеличением содержания в воздухе ТЧ10. Периоды с плохим и опасным уровнями загрязнения атмосферного воздуха отсутствовали (рисунок 4.1.1).

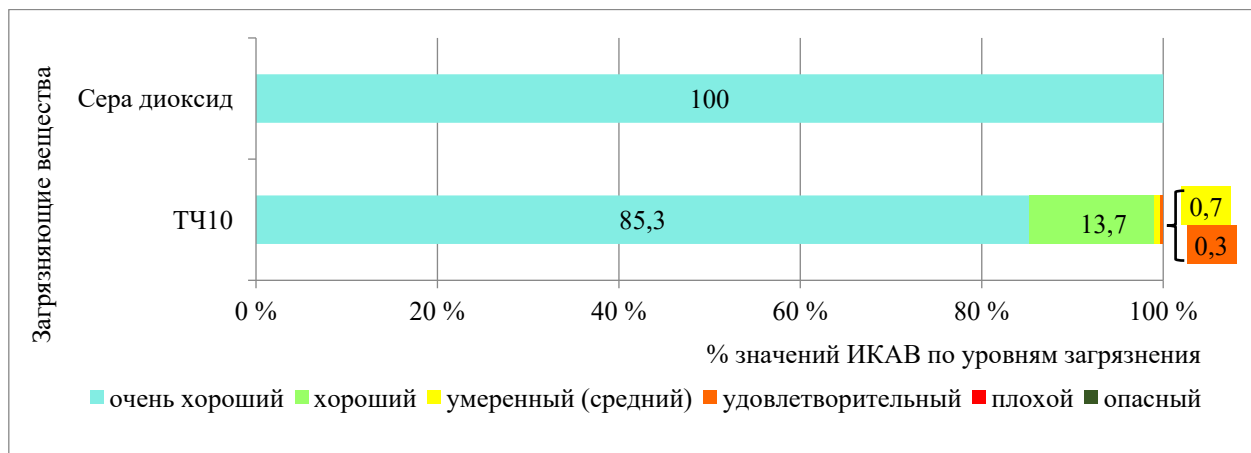


Рис. 4.1.1 – Распределение значений ИКАВ (%) в 2024 г. на станции фонового мониторинга в Березинском заповеднике

Сера диоксид. По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация серы диоксида составляла $6,2 \text{ мкг/м}^3$ (0,12 ПДК) и была несколько выше, чем в 2023 г. Максимальная среднесуточная концентрация $9,9 \text{ мкг/м}^3$ (0,05 ПДК) зафиксирована 28 февраля 2024 г. Сезонные изменения содержания в воздухе серы диоксида не имели ярко выраженного характера.

Сульфат-ион. Среднегодовая фоновая концентрация сульфат-иона составляла $1,51 \text{ мкг/м}^3$ и была выше на 15 %, чем в 2023 г. Минимальное содержание сульфат-иона в атмосферном воздухе зафиксировано в августе ($0,17 \text{ мкг/м}^3$), максимальное содержание ($5,16 \text{ мкг/м}^3$) – в ноябре. Максимальная среднесуточная концентрация сульфат-иона составляла $5,16 \text{ мкг/м}^3$ (11 октября 2024 г.).

Твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль). Среднегодовая фоновая концентрация твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) составляла $16,6 \text{ мкг/м}^3$ и по сравнению с 2023 г. увеличилась на 18 %. В теплый период года содержание в воздухе твердых частиц было выше, чем в холодный период. В годовом ходе максимальное содержание в воздухе твердых частиц наблюдалось в сентябре, минимальное содержание – в декабре (рисунок 4.1.2). Максимальная среднесуточная концентрация твердых частиц зафиксирована 1 октября 2024 г. и составляла $107,40 \text{ мкг/м}^3$ (0,7 ПДК).

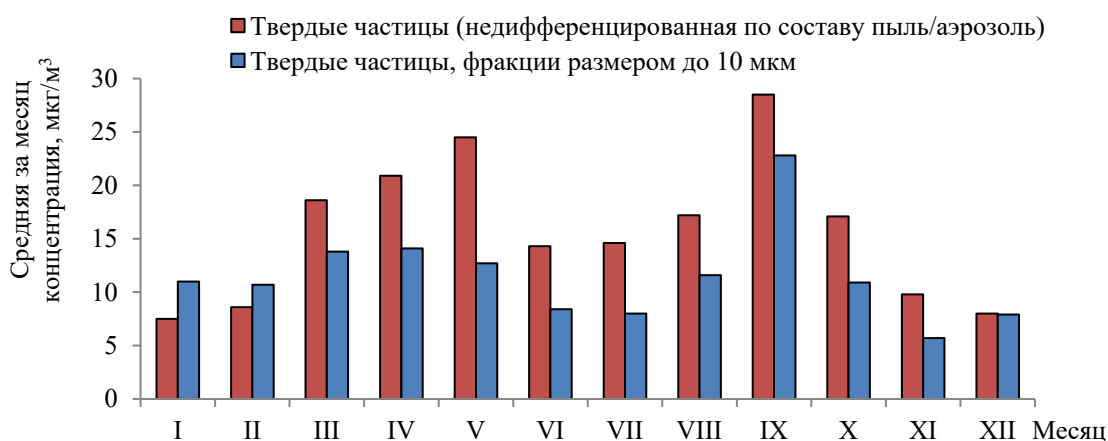


Рис. 4.1.2 – Внутригодовое распределение концентраций твердых частиц в атмосферном воздухе Березинского заповедника 2024 г.

Твердые частицы, фракции размером до 10 мкм. Фоновый уровень концентраций ТЧ10 обусловлен в большой степени трансграничным переносом. Увеличение содержания ТЧ10 в теплый период года лимитируется природными и антропогенными факторами.

По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация ТЧ10 составляла 0,3 ПДК и находилась на таком же уровне, как и в 2023 г. Количество дней со среднесуточными концентрациями выше 25 мкг/м^3 (0,5 ПДК) составляло 9,1 % (в 2020 г., 2021 г., 2022 г. и 2023 г. – 6,8 %, 4,8 %, 3,6 % и 5,6 % соответственно). В годовом ходе максимальное содержание в воздухе ТЧ10 наблюдалось в сентябре, минимальное содержание – в ноябре. В течение 2024 г. зафиксированы 5 случаев превышения среднесуточной ПДК по ТЧ10 в 1,01-2,4 раза.

Тяжелые металлы и бенз(а)пирен. Концентрации свинца и кадмия были ниже пределов обнаружения. Содержание бенз(а)пирена в воздухе определяли в отопительный сезон. Концентрации бенз(а)пирена варьировались в диапазоне $0,29-0,91 \text{ нг/м}^3$.

Бензол. Содержание в воздухе бензола было по-прежнему значительно ниже норматива ПДК.

Приземный озон. Содержание приземного озона в 2024 г. измерялось в течение 5 месяцев. В этот период превышения нормативов ПДК по приземному озону не зафиксированы.

4.2 Станция комплексного фонового мониторинга Боровое (Республика Казахстан)

Государственный заповедник Боровое был учреждён Постановлением ВЦИК и СНК СССР за подписью М.И. Калинина в 1925 году. Государственный национальный природный парк «Бурабай» (Боровое) создан в 2000 г. с целью охраны озерно-горно-лесных ландшафтов, упорядочения туризма и организации отдыха населения на его территории. Расположен парк на территории Щучинского района Акмолинской области. Его площадь 83511 га.

В конце 1970х в Боровом была организована первая станция системы комплексного фонового мониторинга, проработавшая до распада СССР. Информация о загрязнении природных сред поступала в БД «Фоновый мониторинг» до 2001 года, затем последовал перерыв. В 2020 году обмен информацией возобновился. Характеристика загрязнения природных сред в районе расположения СКФМ «Боровое» дается по содержанию Информационных бюллетеней о состоянии окружающей среды на территории Республики Казахстан за 2020 – 2024 гг., подготовленных департаментом экологического мониторинга РГП «Казгидромет». Также в этом году «Казгидромет» предоставил некоторые ретроспективные данные за 2010-2020 годы. Необходимо отметить, что вследствие смены методик отбора и анализа проб, сопоставить напрямую данные, получаемые в настоящее время и в 1980-1990х гг., не представляется возможным.

Общая оценка загрязнения атмосферы СКФМ Боровое.

На СКФМ «Боровое» в атмосферном воздухе определяются следующие загрязняющие вещества: взвешенные частицы РМ-2,5, взвешенные частицы РМ-10, диоксид серы, оксид углерода, диоксид и оксид азота, озон (приземный), сероводород, аммиак, диоксид углерода.

За 2020 - 2021 годы по данным стационарной сети наблюдений, уровень загрязнения атмосферного воздуха СКФМ Боровое оценивался как низкий, он определялся значениями: СИ – 0-1, НП – 0%, ИЗА – 0-5.

За 2022 год по данным стационарной сети наблюдений уровень загрязнения атмосферного воздуха характеризовался как повышенный, он определялся значениями ИЗА=5 (повышенный уровень), СИ=3,2 (повышенный уровень) и НП=1% (повышенный уровень).

Средние концентрации взвешенных частиц РМ-2,5 составила 1,5 ПДКс.с., озон – 1,4 ПДКс.с., концентрации остальных загрязняющих веществ не превышали ПДК. Максимально-разовые концентрации взвешенных частиц РМ-2,5 составила 3,2 ПДКм.р., взвешенных частиц РМ-10 – 1,8 ПДКм.р., оксида углерода – 1,1 ПДКм.р., озон – 1,9 ПДКм.р., сероводород – 2,3 ПДКм.р., концентрации остальных загрязняющих веществ не превышали ПДК.

Случаи экстремально высокого и высокого загрязнения (ВЗ и ЭВЗ): ВЗ (более 10 ПДК) и ЭВЗ (более 50 ПДК) не были отмечены.

За последние 5 лет загрязнение имеет низкий уровень, за исключением 2022 года, где уровень – повышенный. За 2023 год данные о загрязнении атмосферного воздуха в фоновых районах Республики Казахстан не представлены.

В 2024 году по данным стационарной сети наблюдений уровень загрязнения атмосферного воздуха характеризовался как низкий, он определялся значениями ИЗА=1 (низкий уровень), СИ=0,9 (низкий уровень) и НП=0% (низкий уровень). Максимально-разовые концентрации загрязняющих веществ не превышали ПДК. Случаи экстремально высокого и высокого загрязнения (ВЗ и ЭВЗ): ВЗ (более 10 ПДК) и ЭВЗ (более 50 ПДК) не были отмечены.

Химический состав атмосферных осадков

В 2023 г. в пробах преобладали сульфаты 25,7 %, хлориды 14,9 %, нитраты 2,0 %, гидрокарбонаты 28,8 %, аммоний 1,1 %, ионы натрия 8,3%, ионы калия 5,2%, ионы магния 2,7%, ионы кальция 11,2 %.

Кислотность выпавших осадков на МС СКФМ «Боровое») составила 5.6.

В 2024 году концентрации всех определяемых загрязняющих веществ в осадках не превышали предельно допустимые концентрации (ПДК). В пробах осадков преобладало содержание хлоридов – 19,1 %, гидрокарбонатов – 18,9 %, сульфатов –16,7 %, нитратов -1,8 % натрия – 25,0 %, кальция – 8,2 %, калия – 6,4%, магния –3,2 %. Общая минерализация на МС составила – 3500,0 мг/л. Удельная электропроводимость атмосферных осадков 211,4 мкСм/см. Кислотность выпавших осадков имеет характер слабо кислой и нейтральной среды и составляет 4,87 (СКФМ «Боровое»).

Загрязнение почв

В пробах почвы, отобранных на станции комплексного фонового мониторинга «Боровое» (СКФМ «Боровое») в 2023 году, содержания цинка составили 1,0 мг/кг, меди – 0,02 мг/кг, свинца – 0,01 мг/кг, хрома – 0,1 мг/кг, кадмия – 0,04 мг/кг.

В пробах почвы, отобранных в поселке Бурабай, содержание цинка составило 1,0-1,3 мг/кг, меди – 0,01-0,1 мг/кг, свинца – 0,01-1,4 мг/кг, хрома – 0,1-0,5 мг/кг, кадмия – 0,01-0,4 мг/кг.

В 2024 году в пробах почвы, отобранных на станции комплексного фонового мониторинга «Боровое» (СКФМ «Боровое»), содержание цинка составило 0,0030 мг/кг, меди – 0,0006 мг/кг, свинца – 0,0022 мг/кг, хрома – 0,0001 мг/кг, кадмия –0,0007 мг/кг.

Поверхностные воды

В озере Щучье в 2024 г. водородный показатель составил 9,16, концентрация растворенного в воде кислорода – 8,40 мг/дм³, БПК₅ – 2,91 мг/дм³, ХПК – 21,65 мг/дм³, взвешенные вещества – 6,13 мг/дм³, минерализация – 527,4 мг/дм³, цветность – 22,2 градусов; запах – 0 баллов.

Донные отложения

В пробах донных отложений, отобранных в оз. Щучье, концентрации кадмия в среднем

составляет 0,201 мг/кг, никеля – 42,8 мг/кг, свинца – 12,73 мг/кг, меди – 12,83 мг/кг, хрома – 9,73 мг/кг, мышьяка – 5,295 мг/кг, марганца – 49,16 мг/кг.

4.3 Станция комплексного фонового мониторинга Чаткальский БЗ (Республика Узбекистан)

Чаткальский государственный биосферный заповедник — старейший государственный заповедник на территории Узбекистана, организован в 1947 году. Его площадь 35,2 тыс.га. Он расположен на склонах Чаткальского хребта в Западном Тянь-Шане (Ташкентская область, Паркентский район). Территория заповедника состоит из двух участков: Башкизилсайского (Паркентский район) и Майдантальского (Бостанлыкский район), диапазон их высот колеблется в пределах от 1200 до 4000 м над уровнем моря. Вся территория находится в горной части бассейнов крупных рек Сырдарьи, Чирчика и Ахангарана.

На территории заповедника климат резко континентальный с холодной снежной зимой, температурой воздуха, опускающейся до - 40 градусов, с выпадением осадков в зимне - весенний периоды, суммарно от 720 до 1157 мм в год. Для зоны высоких предгорий характерны сильные ливни (весной и в начале лета). Относительная влажность воздуха колеблется в пределах от 48 до 63%.

На территории заповедника в предгорьях и низкогорьях до высоты 1200 - 1300 м отмечены сероземы. В средневысотных горах на высоте от 1400 до 2200 м и в зависимости от коренных пород - коричневые почвы. Бурые горно-лесные почвы также характерны для средневысотных гор Западного Тянь-Шаня, светло-бурые лугостепные почвы – для верхнего пояса гор. Они распространены на водоразделах хребтов и прилегающих к ним частях склонов. Вблизи родников и снежников высокогорий развиваются светло-бурые луговые и торфоболотные почвы.

Территория заповедника расположена на водораздельной части двух основных речных бассейнов Западного Тянь-Шаня: Чирчикского и Ахангаранского. Всего по территории заповедника протекает 10 рек.

В заповеднике произрастает более 1168 видов высших растений, из них 6 эндемичных видов : горицвет голочашечный, лук пскемский, аллохруза качимовидная, ветреница вытянутая, астрагал красножилковый и змееголовник Комарова. Кроме того, флора заповедника очень богата техническими, лекарственными, эфиромасличными, плодово-ягодными и кормовыми растениями, являясь ценным генетическим фондом. Растительность заповедника разнообразна, и за прошедшие десятилетия с момента создания заповедника на растительный мир не оказывалось сильного антропогенного воздействия, в результате чего внешний растительный покров довольно сильно отличается от растительности за пределами заповедника. Прежде всего, можно говорить о его густоте и разнообразии.

На территории заповедника по неполным данным отмечены следующие виды животных: Насекомые - более 1000 видов; Рыбы - 4 вида; Амфибии – 2; Рептилии - 17 видов; Птиц - 176

видов (гнездящихся - 103); Млекопитающие - 33 вида.

В Чаткальском БЗ была организована станция системы комплексного фонового мониторинга, проработавшая с 1983 по 2007 гг. Основные результаты наблюдений за 2015-2022 г. представлены в таблицах ниже. Данные за 2023 и 2024 годы не представлены.

Таблица 4.3.1 Данные анализов проб атмосферного воздуха 2015-2022 гг. Среднемесячное содержание диоксида серы (мкг/м³)

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2015	0,102	0,099	0,095	0,091	0,094	0,101	0,100	0,094	0,092	0,096	0,098	0,084
2016	0,095	0,088	0,090	0,091	0,095	-	-	0,092	0,091	0,093	0,090	0,090
2017	0,087	0,092	0,091	0,094	0,094	0,113	0,116	0,108	0,086	0,085	0,090	0,086
2018	0,092	0,091	0,080	0,094	0,101	0,133	0,192	0,089	0,089	0,081	0,080	0,083
2019	0,094	0,090	0,095	0,094	0,092	0,097	0,150	0,110	0,083	0,084	0,084	0,083
2020	0,091	0,086	0,093	0,090	0,096	0,096	0,092	0,089	0,090	0,093	0,092	0,093
2021	0,093	0,093	0,094	0,094	0,095	0,097	0,100	0,100	0,095	0,092	0,140	0,094
2022	0,094	0,096	0,095	0,096	0,096	0,098	0,110	0,098	0,091	0,101	0,092	0,092

Таблица 4.3.2 Данные анализов проб атмосферных осадков 2015-2022 гг.

Ингредиент	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2015 год												
Сульфаты (мг/л)	7,1	7,0	3,8	6,2	10,3					10,1	6,3	8,3
Хлориды (мг/л)	1,28	1,28	1,53	1,02	1,53					1,02	2,04	1,28
Гидрокарбонаты (мг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					5,49	0,00	0,00
Аммоний (мг/л)	0,273	0,065	0,058	0,065	0,026					0,039	0,637	0,273
Калий (мг/л)	0,54	0,316	0,778	0,434	0,416					0,608	0,417	0,526
Магний (мг/л)	0,73	2,19	1,46	1,46	1,22					2,92	0,00	0,73
Кальций (мг/л)	2,00	3,21	3,61	3,61	6,01					6,01	2,40	4,01
Электропроводность (µSm/cm)	28,2	25,1	51,0	53,6	41,2					51,6	22,5	31,6
pH	6,87	6,86	6,85	6,8	6,88				6,8	6,8	6,85	6,83
Свинец (мкг/л)	5,16	0	14,28	31,44	12,64					14,04	4,68	10,16
Кадмий (мкг/л)	0,32	0,04	0,60	0,76	0,48					0,16	0,24	0,12
Медь (мкг/л)	0,48	0,32	3,20	3,64	2,72					4,00	1,36	0,00
Цинк (мкг/л)	16,4	18,92	53,00	64,32	29,48					24,08	17,80	24,04
Ртуть (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,001	0,00					0,00	0,00	0,00
a - ГХЦГ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
g - ГХЦГ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
ДДТ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
ДДЭ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
Кол-во осадков (мм)	101,8	83,5	97,8	55,9	43,2	-	-	-	4,6	66,4	98,8	88,6
2016 год												
Сульфаты (мг/л)	10,5		1,2	15,9	10,0	8,8				10,2	1,2	7,0
Хлориды (мг/л)	3,83		1,79	1,79	3,83	3,06				6,38	5,62	8,17
Гидрокарбонаты (мг/л)	6,10		13,42	29,89	0,00	0,00				10,37	10,37	8,54
Аммоний (мг/л)	1,313		0,039	0,065	0,039	0,234				0,065	0,078	0,312
Калий (мг/л)	0,313		0,317	0,644	0,356	0,490				0,569	0,566	0,485
Магний (мг/л)	1,22		1,46	0,49	0,00	0,00				0,00	0,00	0,49
Кальций (мг/л)	1,20		2,40	13,23	3,61	13,63				16,3	7,21	8,02
Электропроводность (µSm/cm)	20,3		32,6	90,9	38,3	38,5				62,7	86,3	24,5
pH	6,85	6,8	6,8	6,83	6,7	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,3
Свинец (мкг/л)	19,76		0,00	63,56	11,60	17,32	42,56			7,8	2,64	1,72
Кадмий (мкг/л)	0,28		0,00	0,08	0,00	0,00	0,00			0,88	0,04	0,40
Медь (мкг/л)	0,00		0,40	2,12	2,00	2,84	4,52			3,00	1,68	0,96
Цинк (мкг/л)	40,44		29,72	30,72	22,08	23,84	58,64			41,64	27,28	16,80
Ртуть (мкг/л)	0,000		0,001	0,000	0,001	0,000	0,001			0,000	0,000	0,000
a - ГХЦГ (мкг/л)	0,005		0,00	0,00	0,00	0,00	0,004			0,00	0,00	0,00
g - ГХЦГ (мкг/л)	0,005		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00
ДДТ (мкг/л)	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00
ДДЭ (мкг/л)	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00
Кол-во осадков (мм)	100,4	1,6	74,7	18,6	89,6	11,7	7,0	6,7	4,6	45,2	34,7	88,0

Ингредиент	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2017 год												
Сульфаты (мг/л)	1,5	1,9	0,4	0,1	0,4					10,2	1,8	8,2
Хлориды (мг/л)	5,62	6,64	5,96	6,24	4,25					6,38	5,39	7,09
Гидрокарбонаты (мг/л)	0,00	12,20	17,92	7,27	6,45					10,37	10,36	11,9
Аммоний (мг/л)	0,156	0,013	0,00	0,039	0,195					0,065	0,065	0,6
Калий (мг/л)	1,20	0,298	0,153	0,617	0,921					0,569	0,389	1,013
Магний (мг/л)	0,24	0,00	0,00	0,73	2,19					0,00	0,24	0,73
Кальций (мг/л)	12,02	6,41	12,02	8,02	24,04					16,3	18,44	14,43
Электропроводность (µSm/cm)	31,6	11,57	36,66	20,93	18,6					62,7	31,51	49,67
pH	6,85	6,83	6,87	6,80	6,8					6,8	6,8	6,8
Свинец (мкг/л)	6,72	8,40	0,00	0,00	17,08					7,8	3,2	4,36
Кадмий (мкг/л)	1,92	0,80	0,00	0,00					6,8	0,88		
Медь (мкг/л)	1,16	11,56	2,64	0,84	4,80					3,00	3,52	3,84
Цинк (мкг/л)	23,92	21,08	20,48	30,00	42,04					41,64	10,52	5,88
Ртуть (мкг/л)	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001					0,000	0,000	0,000
a - ГХЦГ (мкг/л)	0,005	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
g - ГХЦГ (мкг/л)	0,005	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
ДДТ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
ДДЭ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
Кол-во осадков (мм)	75,2	84,7	108,3	26,8	4,6	-	-	-	2,2	45,2	32,3	11,8
2018 год												
Сульфаты (мг/л)		0,94	3,53	7,50	13,7					10,41	4,87	1,4
Хлориды (мг/л)		2,55	3,69	3,69	4,54					3,69	4,25	4,54
Гидрокарбонаты (мг/л)		0,15	3,90	7,73	12,32					13,77	0,00	25,00
Аммоний (мг/л)		0,143	0,12	0,117	0,182					0,243	0,101	0,096
Калий (мг/л)		0,183	0,04	0,238	0,66					0,56	0,50	0,58
Магний (мг/л)		1,22	0,97	1,22	0,24					0,49	0,97	0,97
Кальций (мг/л)		10,42	3,61	7,21	11,22					16,03	7,62	9,62
Электропроводность (µSm/cm)		28,40	28,81	55,9	48,80					72,00	45,90	43,23
pH	6,87	6,73	6,81	6,86	6,85	6,76				6,80	6,82	6,82
Свинец (мкг/л)	11,05	17,28	6,23	16,44	11,21	13,66				6,55	3,684	3,35
Кадмий (мкг/л)	0,02	1,32	0,09	0,77	0,59	0,62				0,46	0,37	0,93
Медь (мкг/л)	3,29	2,42	1,16	1,58	3,68	5,50				1,44	0,72	0,94
Цинк (мкг/л)	12,79	23,05	24,75	16,18	24,64	22,02				13,07	20,39	36,32
Ртуть (мкг/л)		0,000	0,000	0,000	0,000					0,00	0,000	0,000
a - ГХЦГ (мкг/л)	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,01	0,00	0,00
g - ГХЦГ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00
ДДТ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00
ДДЭ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00
Кол-во осадков (мм)	7,6	35,4	136,3	31,6	40,6	24,6	-	-	-	79,2	43,2	43,4
2019 год												
Сульфаты (мг/л)	8,21	6,74	5,76	6,37	2,20				13,66		9,11	16,5
Хлориды (мг/л)	1,99	1,99	2,55	2,55	1,42				3,69		2,84	3,12
Гидрокарбонаты (мг/л)	24,72	20,20	22,32	18,54	10,20				19,21		12,67	20,00
Аммоний (мг/л)	0,03	0,27	0,71	0,289	0,104				0,183		0,658	0,533
Калий (мг/л)	0,00	0,50	0,07	0,61	0,85				0,27		0,30	0,14
Натрий (мг/л)	0,27	1,84	0,00	1,53	1,56				1,13		0,81	0,11
Магний (мг/л)	2,19	2,19	1,95	2,43	1,22				1,22		1,46	0,97
Кальций (мг/л)	10,82	3,21	4,01	2,00	3,12				4,01		4,01	2,4
Электропроводность (µSm/cm)	60,6	44,0	47,3	36,8	22,20				50,9		46,10	54,3
pH	6,83	6,84	6,87	6,39	6,82	6,86			6,80		6,83	6,76
Свинец (мкг/л)	8,23	9,49	14,21	3,68	8,16				16,39		7,96	8,50
Кадмий (мкг/л)	0,40	1,34	1,64	0,16	0,41				0,37		0,50	0,76
Медь (мкг/л)	1,82	2,47	3,41	0,81	1,46				3,17		2,6	4,87
Цинк (мкг/л)	29,72	36,74	78,5	18,30	21,88				28,11		38,80	58,75
Ртуть (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,001		0,000	0,00
a - ГХЦГ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00		0,00	0,00
g - ГХЦГ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00		0,00	0,00
ДДТ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00		0,00	0,00
ДДЭ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				0,00		0,00	0,00
Кол-во осадков (мм)	90,3	31,0	39,8	214,4	13,1	5,7	-	-	27,9	-	32,6	55,8
2020 год												
Сульфаты (мг/л)	3,07	1,12	3,48	1,04	2,12						2,58	9,1
Хлориды (мг/л)	2,84	2,82	3,12	1,27	1,97						0,11	0,19
Гидрокарбонаты (мг/л)	13,20	4,80	27,20	10,06	11,60						26,23	19,52
Аммоний (мг/л)	0,041	0,026	0,429	0,117	0,279						0,026	1,365
Калий (мг/л)	0,55	0,23	0,65	0,31	0,40						0,55	0,44
Натрий (мг/л)	1,69	1,84	2,38	1,55	1,57						1,84	0,95
Магний (мг/л)	1,46	1,95	1,46	1,45	1,43						1,22	2,92

Ингредиент	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Кальций (мг/л)	3,01	3,22	4,21	2,01	2,81						6,01	4,01
Электропроводность (μSm/cm)	34,5	21,4	57,8	25,5	30,70						55,50	83,2
pH	6,75	6,83	6,90	6,87	6,84	6,80					6,80	6,8
Свинец (мкг/л)	4,42	7,56	13,24	6,01	4,14						10,34	
Кадмий (мкг/л)	0,03	1,32	1,76	1,60	1,08						1,54	
Медь (мкг/л)	3,78	2,58	1,18	4,30	3,36						3,10	
Цинк (мкг/л)	85,36	95,52	97,19	35,79	26,70						31,49	
Ртуть (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001						0,001	0,00
Кол-во осадков (мм)	44,7	134,2	46,2	112,8	138,5	17,7	-	-	-	-	6,5	4,5
2021 год												
Сульфаты (мг/л)	5,7	6,7	5,5	18,00						22,0	18,70	10,0
Хлориды (мг/л)	2,27	2,55	2,84	0,57						11,15	5,67	3,4
Гидрокарбонаты (мг/л)	7,86	21,40	10,21	0,00						12,03	25,63	14,01
Аммоний (мг/л)	0,12	0,40	0,11	0,56						0,17	0,00	0,07
Калий (мг/л)	0,39	0,68	0,72	0,52						0,50	0,62	0,759
Натрий (мг/л)	1,43	2,11	1,76	1,23						1,50	1,42	1,39
Магний (мг/л)	3,16	1,70	0,49	0,73						0,49	1,22	0,49
Кальций (мг/л)	2,81	7,21	5,21	8,02						4,01	7,62	7,21
Электропроводность (μSm/cm)	32,0	58,0	48,0	38,0						64,5	78,33	57,6
pH	6,8	6,9	6,90	6,8	6,83	6,8				6,90	6,80	6,8
Свинец (мкг/л)	5,23	6,36	16,65	10,13	12,88					21,13	5,93	15,66
Кадмий (мкг/л)	0,24	0,24	0,30	0,26	0,80					0,65	0,23	0,09
Медь (мкг/л)	1,76	3,46	7,21	3,71	4,68					7,01	2,55	3,18
Цинк (мкг/л)	23,4	20,86	55,39	39,53	39,46					81,60	16,64	26,51
Ртуть (мкг/л)	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001					0,000	0,000	0,000
Кол-во осадков (мм)	17,1	65,4	125,2	28,9	12,2	17,7	-	-	-	35,9	30,4	56,4
2022 год												
Сульфаты (мг/л)	10,3	11,8	5,0	5,7	10,2	8,5				8,0	8,7	3,3
Хлориды (мг/л)	0,85	1,42	1,70	2,27	2,55	2,84				1,13	1,42	1,70
Гидрокарбонаты (мг/л)	35,44	16,25	7,15	9,72	20,65	18,82				18,41	22,87	3,05
Аммоний (мг/л)	0,05	0,03	0,15	0,02	1,05	0,05				0,01	0,16	0,38
Калий (мг/л)	0,42	0,59	0,85	0,29	0,41	0,85				0,83	1,09	0,09
Натрий (мг/л)	1,47	1,32	1,68	0,91	1,11	1,63				2,64	1,86	0,18
Магний (мг/л)	1,46	1,46	0,97	0,73	3,89	0,97				0,49	1,34	0,49
Кальций (мг/л)	6,41	4,41	4,81	3,61	6,42	2,40				9,62	12,83	2,40
Электропроводность (μSm/cm)	84,9	44,7	41,1	46,2	66,90	73,90				56,4	69,0	16,36
pH	6,83	6,77	6,79	6,80	6,83	6,80				6,80	6,81	6,77
Свинец (мкг/л)	4,1	3,79	4,71	1,92	1,80	0,51				2,02	0,16	23,30
Кадмий (мкг/л)	0,32	0,18	0,24	0,14	0,16	0,18				0,21	0,15	0,53
Медь (мкг/л)	1,50	1,18	0,82	2,87	1,86	0,59				1,15	0,08	3,71
Цинк (мкг/л)	8,83	11,62	34,33	12,50	12,79	6,38				4,74	7,00	26,75
Ртуть (мкг/л)	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002					0,000	0,000	0,000
Кол-во осадков (мм)	43,7	127,6	316,1	8,3	75,3	12,1	-	-	-	42,7	146,3	56,0

Таблица 4.3.3 Данные анализов проб снежного покрова 2015 – 2022 гг. (февраль)

Ингредиент	2015г.	2016г.	2017г.	2018г.	2019г.	2020г.	2021г.	2022г.
Сульфаты (мг/л)	6,8	7,3	0,5	4,91	5,27	4,16	4,50	3,00
Хлориды (мг/л)	0,77	4,08	4,25	2,27	3,40	4,25	2,84	1,42
Гидрокарбонаты (мг/л)	8,54	3,66	1,77	1,42	17,81	27,35	67,11	3,55
Аммоний (мг/л)	0,611	0,169	0,28	0,040	0,820	0,586	2,450	0,35
Калий (мг/л)	0,554	0,553	0,56	0,34	0,839	0,504	0,85	2,79
Натрий (мг/л)					2,132	2,761	3,59	0,55
Магний (мг/л)	1,22	5,11	0,73	2,19	2,19	2,92	1,24	1,7
Кальций (мг/л)	2,00	1,40	7,62	9,62	5,61	9,62	12,02	1,2
Электропроводность (μSm/cm)	20,9	14,9	15,0	49,9	50,1	57,5	52,0	21,9
pH	6,55	6,75	6,9	5,7	7,0	6,8	6,9	6,4
Свинец (мкг/л)	11,28	39,00	6,48	6,12	39,62	21,16	4,05	7,82
Кадмий (мкг/л)	0,12	0,48	0,08	0,75	1,83	0,15	0,24	0,08
Медь (мкг/л)	3,96	6,72	4,24	1,5	7,02	4,37	2,82	3,22
Цинк (мкг/л)	47,68	32,76	18,84	29,11	21,99	53,73	12,7	16,7
Ртуть (мкг/л)	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002
а - ГХЦГ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
g - ГХЦГ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ДДТ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
ДДЭ (мкг/л)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Таблица 4.3.4 Данные анализов проб почвы 2015- 2022 гг. (август)

место отбора	Hg (мг/кг)	Pb (мг/кг)	Cd (мг/кг)	Cu (мг/кг)	Zn (мг/кг)
2015 год					
Полевая База	0,001	7,63	0,43	4,31	6,00
Кушкутан	0,000	14,21	0,35	11,35	20,50
2016 год					
Полевая База	0,000	19,25	0,63	8,34	30,00
Кушкутан	0,000	30,20	1,53	10,40	94,90
Петросай	0,000	21,26	2,05	7,30	34,05
Кизиллма	0,000	28,17	1,25	8,67	66,85
2017 год					
Полевая База	0,000	19,22		7,36	32,35
Кушкутан	0,000	24,23		10,80	35,62
Петросай	0,001	29,31		4,78	19,11
Кизиллма	0,000	14,57		6,75	29,29
2018 год					
Полевая База	0,002	26,00	0,67	34,04	0,67
Кушкутан	0,000	20,98	0,70	66,80	0,70
Петросай	0,003	24,94	0,52	24,92	0,52
Кизиллма	0,001	18,76	0,57	39,94	0,57
2019 год					
Полевая База	0,000	19,20	0,63	9,10	27,33
Кушкутан	0,000	13,46	0,58	15,72	22,78
Петросай	0,000	35,77	0,47	9,15	33,19
Кизиллма	0,000	13,36	0,30	5,34	17,37
2020 год					
Полевая База	0,001	16,80	0,42	7,47	15,49
Кушкутан	0,000	24,72	0,22	10,47	29,81
2021 год					
Полевая База	0,017	17,82	0,69	6,67	18,72
Кушкутан	0,021	17,04	0,66	9,10	33,22
Петросай	0,000	9,15	0,30	6,35	46,23
Кизиллма	0,000	17,22	0,49	8,41	18,6
2022 год					
Полевая База	0,002	20,54	0,48	8,04	19,39
Кушкутан	0,001	20,88	0,54	14,91	21,69
Петросай	0,000	26,50	0,38	3,27	18,17
Кизиллма	0,000	27,72	0,73	8,58	21,16

Таблица 4.3.5 Данные анализов растительности 2015-2022 г. (август)

место отбора	вид, наименование	Hg (мг/кг)	Pb (мг/кг)	Cd (мг/кг)	Cu (мг/кг)	Zn (мг/кг)
2015 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,000	5,66	0,03	1,01	8,33
Полевая База	Разнотравье	0,000	3,40	0,09	1,59	7,25
Полевая База	Мох	0,001	43,17	0,57	13,23	20,43
Кушкутан	Опад арчи	0,000	2,44	0,02	0,77	3,15
Кушкутан	Разнотравье	0,000	2,48	0,08	1,25	7,59
Кушкутан	Мох	0,000	135,10	0,98	15,60	32,81
2016 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,000	1,50	0,05	3,75	7,18
Полевая База	Разнотравье	0,000	1,26	0,20	4,33	36,75
Полевая База	Мох	0,000	10,01	1,13	8,73	45,25
Кушкутан	Опад арчи	0,000	1,10	0,03	3,40	6,30
Кушкутан	Разнотравье	0,000	1,23	0,38	5,90	21,88
Кушкутан	Мох	0,000	60,20	1,23	26,13	62,93
Петросай	Опад арчи	0,000	1,01	0,01	3,30	4,50
Петросай	Разнотравье	0,000	1,27	0,35	7,78	26,58
Петросай	Мох	0,000	3,24	0,03	3,80	21,30
Кизиллма	Опад арчи	0,000	0,93	0,05	3,90	6,25
Кизиллма	Разнотравье	0,000	0,94	0,25	4,45	13,50
Кизиллма	Мох	0,000	11,00	1,45	9,48	37,95
2017 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,000	3,05		0,10	71,12
Полевая База	Разнотравье	0,000	3,55		3,38	46,38
Полевая База	Мох	0,001	106,62		23,1	60,05
Кушкутан	Опад арчи	0,000	2,62		0,35	65,75
Кушкутан	Разнотравье	0,000	1,88		3,68	22,92
Кушкутан	Мох	0,000	81,62		17,35	49,90
Петросай	Опад арчи	0,000	0,85		1,62	49,55

место отбора	вид, наименование	Hg (мг/кг)	Pb (мг/кг)	Cd (мг/кг)	Cu (мг/кг)	Zn (мг/кг)
Петросай	Разнотравье	0,000	0,21		1,25	121,02
Петросай	Мох	0,000	22,72		6,75	35,78
Кизиллма	Опад арчи	0,000	4,00		0,15	14,10
Кизиллма	Разнотравье	0,000	0,80		2,00	92,70
Кизиллма	Мох	0,000	81,75		29,35	63,48
2018 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,006	6,53	0,28	2,34	11,80
Полевая База	Разнотравье	0,000	3,73	0,26	3,14	16,25
Полевая База	Мох	0,001	76,63	0,78	19,48	76,30
Кушкунан	Опад арчи	0,000	6,80	0,35	3,07	21,07
Кушкунан	Разнотравье	0,000	5,08	0,31	4,95	23,89
Кушкунан	Мох	0,000	29,91	1,14	23,38	76,65
Петросай	Опад арчи	0,000	5,04	0,34	3,67	20,12
Петросай	Разнотравье	0,000	5,58	0,51	4,22	21,06
Петросай	Мох	0,001	29,84	1,26	6,46	123,70
Кизиллма	Опад арчи	0,000	4,48	0,22	3,08	18,05
Кизиллма	Разнотравье	0,001	7,88	0,53	5,48	70,98
Кизиллма	Мох	0,000	26,67	0,88	10,81	151,28
2019 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,001	14,53	0,36	4,95	41,62
Полевая База	Разнотравье	0,000	3,71	0,84	4,02	35,95
Полевая База	Мох	0,000	125,2	2,38	22,19	104,62
Кушкунан	Опад арчи	0,000	7,10	0,25	3,56	28,45
Кушкунан	Разнотравье	0,000	5,01	0,30	5,28	32,66
Кушкунан	Мох	0,001	15,56	0,47	28,44	33,67
Петросай	Опад арчи	0,003	9,94	0,35	4,09	33,64
Петросай	Разнотравье	0,001	5,80	0,28	5,48	35,11
Петросай	Мох	0,000	41,68	0,98	12,38	82,61
Кизиллма	Опад арчи	0,000	7,30	0,22	4,84	34,28
Кизиллма	Разнотравье	0,000	5,48	0,23	3,79	34,02
Кизиллма	Мох	0,000	65,98	1,30	17,07	53,22
2020 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,000	9,05	0,42	1,56	16,73
Полевая База	Разнотравье	0,000	4,54	0,22	3,62	36,783
Полевая База	Мох	0,001	126,60	1,58	11,14	84,39
Кушкунан	Опад арчи	0,000	2,13	0,52	0,93	9,49
Кушкунан	Разнотравье	0,000	4,13	0,22	2,50	22,95
Кушкунан	Мох	0,001	101,86	1,51	15,52	64,50
2021 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,000	10,14	0,22	3,13	19,98
Полевая База	Разнотравье	0,000	3,26	0,18	3,50	21,54
Полевая База	Мох	0,003	111,06	2,48	19,95	76,53
Кушкунан	Опад арчи	0,001	5,17	0,17	2,16	13,26
Кушкунан	Разнотравье	0,000	4,30	0,31	5,00	20,07
Кушкунан	Мох	0,007	92,69	1,14	9,35	44,96
Петросай	Опад арчи	0,000	4,93	0,14	1,73	14,23
Петросай	Разнотравье	0,000	4,55	0,29	4,76	24,45
Петросай	Мох	0,001	20,97	0,86	5,53	42,14
Кизиллма	Опад арчи	0,000	4,99	0,17	2,23	16,05
Кизиллма	Разнотравье	0,000	5,76	0,35	5,00	32,80
Кизиллма	Мох	0,000	67,93	1,72	20,41	48,43
2022 г.						
Полевая База	Опад арчи	0,001	6,22	0,15	1,63	15,34
Полевая База	Разнотравье	0,000	5,61	0,24	4,84	44,00
Полевая База	Мох	0,002	117,74	2,06	13,93	54,01
Кушкунан	Опад арчи	0,000	5,89	0,08	1,76	15,59
Кушкунан	Разнотравье	0,000	7,18	0,23	4,40	34,07
Кушкунан	Мох	0,001	57,34	1,06	17,56	48,06
Петросай	Опад арчи	0,000	10,02	0,58	2,69	25,40
Петросай	Разнотравье	0,000	6,31	0,38	6,09	46,65
Петросай	Мох	0,000	60,85	1,36	18,18	43,14
Кизиллма	Опад арчи	0,001	9,93	0,21	2,41	24,33
Кизиллма	Разнотравье	0,000	8,00	0,44	4,63	44,75
Кизиллма	Мох	0,006	184,36	3,30	33,74	57,15

Таблица 4.3.6 Данные анализов проб поверхностных вод 2015- 2022 гг.

месяц	Место отбора	SO ₄ мг/л	Cl мг/л	HCO ₃ мг/л	NH ₄ мг/л	K мг/л	Mg мг/л	Ca мг/л	электро- провод- ность mSm/cm	pH	Pb мкг/л	Cd мкг/л	Cu мкг/л	Zn мкг/л	Hg мкг/л	α-ГХЦГ мкг/л	γ-ГХЦГ мкг/л	ДДЕ мкг/л	ДДТ мкг/л
2015 год																			
январь	Полевая база	14,3	1,53	86,62	0,026	0,97	7,3	32,06	195,0	7,3	0,00	0,64	0,80	5,04	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
март	Полевая база	4,3	1,79	53,07	0,104	0,57	3,65	19,64	115,4	7,2	0,00	0,12	1,24	24,04	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
май	Полевая база	10,9	3,32	79,3	0,026	0,61	5,11	27,66	170,9	7,1	0,76	0,36	0,56	26,2	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
июль	Полевая база	16,0	1,02	90,28	0,078	0,54	6,08	31,26	195,5	7,1	0,00	0,48	0,24	3,88	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Полевая база	17,0	1,79	99,43	0,026	0,56	6,08	34,87	214,4	7,3	0,00	0,64	0,64	1,48	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Кушкунан	9,8	1,79	79,3	0,039	0,8	2,43	33,27	177,4	7,4	0,00	0,48	0,40	12,8	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
сентябрь	Полевая база	16,6	1,02	100,65	0,104	1,95	7,30	35,27	226,4	7,9	0,00	0,36	1,36	6,40	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
ноябрь	Полевая база	16,6	1,79	70,15	0,026	1,15	3,40	28,06	179,0	7,3	0,68	0,44	1,48	6,76	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
2016 год																			
январь	Полевая база	13,7	2,55	87,23	0,117	1,08	8,51	25,65	20,2	7,5	6,84	0,28	0,40	34,92	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
март	Полевая база	6,7	2,81	70,76	0,026	0,69	2,92	23,25	178,5	7,5	0,00	0,00	0,00	6,00	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
май	Полевая база	15,4	2,55	81,74	0,117	0,70	0,97	26,05	187,2	7,6	0,56	0,00	0,56	1,20	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
июль	Полевая база	11,7	7,66	85,40	0,091	0,66	0,00	37,27	208,4	6,4	0,00	0,00	0,80	0,00	0,000	0,047	0,019	0,00	0,00
август	Полевая база	12,7	5,87	89,06	0,013	1,04	2,68	35,67	200,7	6,0	8,96	0,00	0,84	0,80	0,000	0,039	0,014	0,00	0,00
август	Кушкунан	12,6	2,30	73,20	0,026	1,01	0,73	28,06	161,0	6,1	1,96	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Петросай	11,8	5,87	90,89	0,026	0,66	3,16	34,47	204,8	6,0	7,24	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Кивил-олма	7,7	5,10	112,85	0,117	0,52	0,24	26,05	145,8	7,2	7,72	0,00	0,32	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
сентябрь	Полевая база	18,9	6,64	90,87	0,078	0,60	0,24	39,28	204,2	6,3	7,08	0,44	1,20	0,56	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
ноябрь	Полевая база	9,0	5,87	96,99	0,013	0,25	0,24	31,66	162,0	6,7	0,00	0,76	0,92	2,28	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
2017 год																			
январь	Полевая база	9,5	6,89	91,63	0,000	0,22	0,00	38,88	158,0	6,6	2,36	0,48	0,00	14,32	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
март	Полевая база	4,4	7,09	46,07	0,000	0,34	0,49	32,06	168,7	7,3	0,00	0,08	1,64	3,24	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
май	Полевая база	4,8	4,54	81,19	0,273	0,06	0,89	27,66	153,0	6,8	1,40	0,00	1,92	72,96	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
июль	Полевая база	12,5	3,4	32,94	0,169	1,69	0,49	38,08	194,9	5,4	0,00		1,80	2,08	0,001	0,000	0,000	0,00	0,00
август	Полевая база	10,3	3,97	67,59	0,117	0,67	0,24	38,88	205,6	5,5	6,40		3,68	4,44	0,000	0,039	0,000	0,00	0,00
август	Кушкунан	10,1	4,25	100,06	0,052	1,65	1,22	32,06	160,3	5,5	6,56		1,72	9,80	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Петросай	7,2	3,69	128,67	0,338	0,67	0,49	39,28	189,7	5,1	0,00		1,64	9,24	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Кивил-олма	4,9	4,82	106,11	0,107	2,02	0,24	24,85	179,6	5,6	10,40		2,24	10,24	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
сентябрь	Полевая база	13,1	3,97	54,58	0,078	2,14	1,22	37,27	210,8	5,5	2,40		1,12	3,40	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
ноябрь	Полевая база	13,0	5,67	107,38	0,013	0,57	0,49	33,27	212,4	6,0	3,72		2,12	2,16	0,000	0,00	0,015	0,00	0,00
2018 год																			
январь	Полевая база	7,5	5,10	107,36	0,091		0,81	6,57	29,26	204,5	6,9	6,54	0,31	0,40	0,90	0,000	0,00	0,00	0,00
март	Полевая база	7,8	6,24	68,03	0,224		0,24	3,65	18,44	131,2	7,5	10,08	0,70	0,63	3,90	0,000	0,00	0,00	0,00
май	Полевая база	3,7	5,67	89,06	0,403	4,20	0,59	4,13	20,84	153,6	6,8	5,51	0,53	0,60	2,79	0,000	0,00	0,00	0,00
июль	Полевая база	3,7	4,25	127,93	0,273	3,64	0,74	1,70	37,27	201,0	8,0	6,21	0,62	0,64	5,55	0,000	0,00	0,00	0,00
август	Полевая база	2,4	3,69	131,42	0,442	3,99	0,62	2,43	34,47	186,9	8,1	6,97	0,66	0,94	2,56	0,000	0,00	0,00	0,00
август	Кушкунан	1,9	4,82	124,49	0,156	2,84	0,56	0,97	34,47	163,1	7,8	6,66	0,64	0,60	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
август	Петросай											6,74	0,68	0,51	1,15	0,000	0,00	0,00	0,00
август	Кивил-олма	4,5	4,54	113,09	0,130	2,45	0,52	5,84	26,45	150	7,7	4,77	0,58	0,48	0,60	0,000	0,00	0,00	0,00
сентябрь	Полевая база	3,9	2,84	145,06	0,312	4,44	0,68	3,65	32,87	208,0	7,5	7,57	0,67	0,48	3,81	0,000	0,00	0,00	0,00
ноябрь	Полевая база	8,0	3,69	135,35	0,074	3,18	0,87	4,38	27,25	172,6	7,5	5,77	0,36	1,21	2,10	0,000	0,00	0,00	0,00
2019 год																			
январь	Полевая база	22,6	2,55	116,22	0,056	2,90	0,07	5,35	30,06	182,0	7,7	6,80	0,39	1,32	2,67	0,000	0,00	0,00	0,00

месяц	Место отбора	SO ₄ мг/л	Cl мг/л	HCO ₃ мг/л	NH ₄ мг/л	K мг/л	Mg мг/л	Ca мг/л	электропроводность mSm/cm	pH	Pb мкг/л	Cd мкг/л	Cu мкг/л	Zn мкг/л	Hg мкг/л	α-ГХЦГ мкг/л	γ-ГХЦГ мкг/л	ДДЕ мкг/л	ДДТ мкг/л	
март	Полевая база	10,8	2,55	60,47	0,104	2,27	0,38	4,86	21,64	125,7	7,4	3,44	0,34	1,49	9,89	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
май	Полевая база	11,9	1,42	82,16	0,104	3,89	0,71	4,86	22,85	152,4	6,8	3,26	0,42	0,82	2,51	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
июль	Полевая база	10,7	3,69	106,93	0,033	3,90	0,43	0,97	16,83	172,3	7,6	4,85	0,50	1,53	1,69	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Полевая база	12,8	3,12	95,81	0,005	4,10	0,31	4,86	15,23	184,9	6,9	7,10	0,65	3,44	2,41	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Кушкунан	10,2	3,4	90,1	0,003	3,46	0,25	4,38	16,03	181,5	7,2	5,03	0,54	2,54	2,81	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Петросай	12,3	4,25	95,32	0,004	2,02	0,13	4,38	15,23	186,1	7,2	7,66	0,47	2,78	2,58	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
август	Кивилолма	10,2	3,97	78,97	0,000	2,7	0,14	3,40	11,22	131,3	7,4	4,62	0,39	1,84	2,51	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
сентябрь	Полевая база	14,0	4,25	120,06	0,007	4,53	0,36	1,70	18,44	208,0	6,8	3,63	0,48	0,88	3,81	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00
ноябрь	Полевая база	12,6	4,25	100,13	0,044	4,30	0,41	5,35	17,23	194,4	6,8	4,87	0,57	1,53	2,64	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
2020 год																				
январь	Полевая база	35,2	12,55	58,7	0,418	3,87	0,55	5,35	16,03	170,6	6,8	9,19	1,31	1,25	1,70	0,000				
март	Полевая база	20,5	15,66	40,87	0,026	3,68	0,73	3,89	16,83	134,4	6,8	6,25	1,38	2,97	9,42	0,000				
май	Полевая база	28,3	12,96	55,03	0,613	4,55	0,73	0,97	12,83	171,5	6,8	3,58	0,30	9,00	1,30	0,000				
июль	Полевая база	10,1	4,25	103,47	0,182	5,19	0,94	3,65	16,03	193,6	6,8	2,49	0,52	0,78	0,07	0,000				
август	Полевая база	16,3	11,82	96,6	0,064	4,18	0,63	2,43	16,83	200	7,1	3,73	0,54	1,42	1,18	0,001				
август	Кушкунан	14,3	13,1	76,56	0,091	3,27	0,42	1,7	19,24	173,2	7,1	2,22	0,52	0,84	0,39	0,001				
сентябрь	Полевая база	16,7	9,25	107,9	0,086	3,91	0,73	1,95	16,03	213,0	7,1	4,21	0,32	1,27	1,64	0,001				
ноябрь	Полевая база	26,3	0,20	120,78	1,586	3,34	0,48	4,13	19,24	203,0	6,2	3,51	0,56	2,01	3,49	0,000				
2021 год																				
январь	Полевая база	14,0	3,40	77,8	0,01	3,95	0,75	6,32	14,43	169,0	6,9	5,54	0,36	1,28	2,87	0,000				
март	Полевая база	20,5	0,85	50,2	0,01	3,62	0,91	4,13	8,42	122,0	7,0	7,75	0,23	4,14	11,66	0,000				
май	Полевая база	5,6	1,42	89,55	0,01	3,71	0,95	3,16	10,02	161,2	6,8	5,47	0,32	1,18	2,74	0,000				
июль	Полевая база	3,5	1,42	103,97	0,02	2,85	0,81	3,40	15,23	210,0	7,1	6,41	0,43	2,23	3,09	0,000				
август	Полевая база	17,6	2,55	93,1	0,01	2,07	0,23	5,35	16,03	213,0	7,0	5,94	0,58	1,76	3,46	0,000				
август	Кушкунан	12,1	1,99	74,88	0,00	1,98	0,27	3,16	14,03	179,6	7,1	3,76	0,32	3,83	6,07	0,001				
август	Петросай	12,0	9,93	84,33	0,01	1,41	0,14	5,11	14,43	201,0	7,2	6,76	0,65	1,88	5,52	0,000				
август	Кивилолма	5,1	2,27	85,13	0,00	1,76	0,17	4,13	13,63	187,3	7,0	4,96	0,51	1,18	3,45	0,000				
сентябрь	Полевая база	17,3	1,42	134,33	0,05	3,86	0,97	3,16	16,83	239,0	6,5	4,82	0,26	0,81	16,34	0,000				
ноябрь	Полевая база	26,8	1,70	99,74	0,09	3,72	0,89	6,57	17,64	236,0	6,6	5,52	0,30	0,32	4,55	0,000				
2022 год																				
январь	Полевая база	14,0	3,40	77,8	0,01	3,95	0,75	6,32	14,43	169,0	6,9	5,54	0,36	1,28	2,87	0,000				
март	Полевая база	20,5	0,85	50,2	0,01	3,62	0,91	4,13	8,42	122,0	7,0	7,75	0,23	4,14	11,66	0,000				
май	Полевая база	5,6	1,42	89,55	0,01	3,71	0,95	3,16	10,02	161,2	6,8	5,47	0,32	1,18	2,74	0,000				
июль	Полевая база	3,5	1,42	103,97	0,02	2,85	0,81	3,40	15,23	210,0	7,1	6,41	0,43	2,23	3,09	0,000				
август	Полевая база	17,6	2,55	93,1	0,01	2,07	0,23	5,35	16,03	213,0	7,0	5,94	0,58	1,76	3,46	0,000				
август	Кушкунан	12,1	1,99	74,88	0,00	1,98	0,27	3,16	14,03	179,6	7,1	3,76	0,32	3,83	6,07	0,001				
август	Петросай	12,0	9,93	84,33	0,01	1,41	0,14	5,11	14,43	201,0	7,2	6,76	0,65	1,88	5,52	0,000				
август	Кивилолма	5,1	2,27	85,13	0,00	1,76	0,17	4,13	13,63	187,3	7,0	4,96	0,51	1,18	3,45	0,000				
сентябрь	Полевая база	17,3	1,42	134,33	0,05	3,86	0,97	3,16	16,83	239,0	6,5	4,82	0,26	0,81	16,34	0,000				
ноябрь	Полевая база	26,8	1,70	99,74	0,09	3,72	0,89	6,57	17,64	236,0	6,6	5,52	0,30	0,32	4,55	0,000				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка трендов фонового содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и осадках за последние 15-20 лет, включая 2024 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 фонового загрязнения атмосферы некоторыми загрязняющими веществами.

Уровень концентрации CO_2 в атмосфере северных широт достиг в 2024 г. очередного максимума: среднегодовое значение концентрации на станции Териберка составило $426,4 \text{ млн}^{-1}$, а максимальные среднемесячные значения, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили 433 млн^{-1} . Снизившиеся в 2023 г. темпы роста концентрации CO_2 ($\Delta\text{CO}_2 = 2,0 \text{ млн}^{-1}$), вновь превысили среднеглобальное значение, составив $3,0 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ для 2024 г. В 2024 году среднемесячные концентрации метана на станции мониторинга в Приокско-Тerrasном БЗ изменялись в диапазоне от $2027,2 \text{ млрд.}^{-1}$ до $2168,3 \text{ млрд.}^{-1}$. Наименьшие концентрации метана в приземном слое атмосферы наблюдаются в весенне-летний период с мая по июль, что характерно для сезонных изменений содержания метана в воздухе.

В целом, в состоянии озонового слоя 2024 г. был спокойным, значительного разрушения его толщины не наблюдалось, уровень УФ-В радиации был в пределах нормы для соответствующего времени года. В течение 50 лет наблюдений за содержанием ОСО над Российской Федерацией отчетливо проявилось чередование максимумов и минимумов среднегодовых значений ОСО с периодом 2,4 года с «квазидвухлетней» цикличностью. Над всей территорией Российской Федерации в 2024 г. средняя за год толщина озонового слоя составила $362,7 \text{ е.Д.}$, что существенно выше новой нормы (347 е.Д.). В целом отклонения в среднемесячных значениях ОСО были выше нормы или близки к ней в течение практически всего года для всех регионов.

В 2024 г. по сравнению с предшествующим годом на большинстве региональных фоновых станций степень оптического замутнения атмосферы уменьшилась. Исключение составили лишь станции Воейково и Хужир, где ОПА возросла на 3,8% и 11,5% соответственно. В 2024 г. самой загрязненной станцией была станция Воейково, расположенная вблизи Санкт-Петербурга и испытывающая его непосредственное воздействие при ветрах западных направлений. Максимальные среднегодовые значения ОПА на станции были зарегистрированы в марте (ОПА = 0,334) и в июне (ОПА = 0,337). Второе место по уровню замутнения атмосферы в 2024 г. заняла станция Памятное (ОПА = $0,258 \pm 0,036$) вследствие её степного расположения и засушливого лета. Общий

уровень оптического замутнения атмосферы в 2024 г., за исключением станции Воейково, практически не превышал значения оптической плотности атмосферы, равной 0,250.

По сравнению с предшествующим годом в 2024 году не отмечалось существенных изменений градиента потенциала электрического поля атмосферы и суммарной электрической проводимости.

В 2024 г. среднегодовые фоновые концентрации тяжелых металлов в атмосферных осадках сохранились на низком уровне. На всех станциях фонового мониторинга выпадения тяжелых металлов с осадками не достигают уровней, представляющих угрозу экосистемам.

В 2024 г. по данным наблюдений на станциях фонового мониторинга химического состава осадков, входящих в качестве региональных в состав сети Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, содержание отдельных ионов, минерализация, удельная электропроводность и величина рН в осадках отличались от среднегодовых значений не более чем 25%.

На российских станциях ЕМЕП в 2024 г. кислые осадки с рН < 4 не наблюдались; на всех станциях повторяемость выпадений атмосферных осадков с рН от 5 до 6 превышала 50%. В 2024 г. в целом на всех российских станциях ЕМЕП наблюдался незначительный рост влажных выпадений, как серы, так и азота с атмосферными осадками. Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2024 г. и значений критических нагрузок по этим элементам для районов расположения станций, позволяют сделать вывод, что выпадения серы и азота существенно ниже уровня критических нагрузок для регионов России в районах расположения российских станций ЕМЕП.

По данным за последние 20 лет среднегодовые содержания газовых примесей в воздухе на станциях ЕАНЕТ имели тенденции к возрастанию только для SO₂ в регионе оз. Байкал. На станции Приморская продолжается снижение концентраций в атмосферном воздухе соединений серы, а также газообразных и аэрозольных восстановленных форм азота. В годовом ходе концентраций аэрозолей сульфатов и нитратов на региональных станциях хорошо выражен максимум во второй половине холодного периода.

Данные мониторинга ХССП показали, что в зимний период 2023-2024 гг. на большей части территории страны потоки серы с атмосферными осадками составили менее 20 кг/км²·мес. Значения интенсивности выпадения азота находились в пределах 10-15 кг/км²·мес. На более чем 80% территории РФ среднемесячный показатель рН по регионам в зимний период 2023-2024 гг. находился в пределах 5,5 – 6,5 ед. Регионы с показателем рН ниже 5,5 отсутствуют.

По результатам обработки данных моделирования выпадений соединений серы и азота в границах региона ЕМЕП отмечено, что в субъектах РФ на ЕЧР за 2024 г. потоки общих (сухих и с осадками) выпадений окисленной серы и окисленного азота продолжали снижаться или их изменения были незначительными. Потоки из атмосферы продолжают слабо меняться уже более

10 лет, в среднем за последние 5 лет наблюдается небольшое уменьшение выпадений, однако для Москвы и некоторых республик Северного Кавказа сформировалась тенденция их роста с 2013-2014 гг., с увеличением выпадений за 5 лет на 14-30%. По результатам анализа ранжированного списка регионов по уровню поступления окисленной серы из атмосферы в 2024 году Московский регион вошел в число регионов с очень высокой плотностью общего выпадения: в столице этот показатель составил 0,47 т/км².

Содержание в почвах и растительности фоновых районов тяжелых металлов и приоритетных органических загрязнителей характеризует их экологическое состояние в основном как благополучное.

В большинстве регионов значения массовых долей ТПП в почвах варьируют в определённых ранее пределах, зависящих от природной неоднородности почв, сохраняясь в среднем за период наблюдений примерно на одном уровне. Отдельные высокие значения фоновых массовых долей химических веществ в почвах выявляются редко. За многолетний период наблюдений превышение предельно допустимых и ориентировочно допустимых концентраций химических веществ в почвах регистрировалось в единичных случаях. Анализ значений фоновых массовых долей ТПП в почвах Российской Федерации позволяет оценить состояние почв фоновых площадок как благополучное. Статистически достоверного накопления ТПП в почвах фоновых площадок за период наблюдений не отмечено.

По результатам анализа рядов наблюдений за параметрами роста сосны обыкновенной в разных широтах лесной зоны получено, что при проведении оценки воздействия изменения климатических факторов на природные экосистемы Европейской территории России следует учитывать характер изучаемых местообитаний и типов леса. Наиболее репрезентативными будут показатели приростов сосняков из местообитаний в условиях произрастания, далёких от оптимальных, и с границ ареала распространения вида, где чувствительность (по характеру приростов) к изменениям температуры и осадков наибольшая. При этом получаемые индексы линейных приростов путем сглаживания рядов измеренных значений дают возможность выявить искомые климатические сигналы.

Фоновое содержание ртути, свинца, кадмия в поверхностных водах большинства районов России в 2024 году соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние 10 лет. Концентрации изомеров ДДТ на всех исследуемых реках значения не превышали пределов обнаружения. Уровни концентраций хлорорганических пестицидов сохранились на уровне прежних измеряемых диапазонов данных.

Анализ качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям показал, что в 2024 г. для большинства пунктов наблюдений на фоновых участках в многолетнем плане вода хорошего качества, оценивается как «условно чистая» или «слабо загрязненная». Вместе с тем до

уровня «загрязненная» ухудшилось в 2020-2024 г. качество воды р. Ворона, г. Уварово, в 2023-2024 гг. – р. Лесной Воронеж, г. Мичуринск.

В целом по результатам фоновых наблюдений за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети ЕАНЕТ, в 2024 году в р. Комаровка (Приморье) содержание всех основных ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Mg^{2+}), за исключением кальция и натрия, было ниже средних многолетних значений. При этом значения рН также оказались ниже многолетнего среднего значения. Для реки Переемная концентрации основных ионов, а также показатель рН были на уровне средних многолетних значений.

Ухудшения качества вод по гидробиологическим показателям и состояния экосистем на фоновых участках водных объектов в 2024 г. на фоне многолетней динамики не отмечено. В Баренцевом, Балтийском, Каспийском, Карском, Восточно-Сибирском и Тихоокеанском гидрографических районах на всех 22 фоновых участках выбранных водных объектов экосистемы в 2014–2024 гг. не претерпели серьезных изменений, вариации показателей качества воды находились в пределах одного класса качества вод. Состояние экологического благополучия характерно для 15 из 22 фоновых участков. В восьми наблюдаемых фоновых пунктах (р. Манома, Джида, Суонанна, Лена (дельта, среднее и нижнее течение) и оз. Ханка в районе биосферного заповедника «Ханкайский») не выявлены признаки негативного антропогенного воздействия. Экосистемы наблюдаемых фоновых объектов в Европейской части России, в Баренцевском, Балтийском и Каспийском гидрографических районах находятся в состоянии антропогенного экологического напряжения.

Содержание приоритетных загрязняющих веществ в природных средах на станции КФМ «Березинский БЗ» (Республика Беларусь) свидетельствует о низком уровне фонового загрязнения, 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 фонового загрязнения, 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 фонового загрязнения, не представляющим опасности для экосистем Чаткальского биосферного заповедника и их компонентов.

Список сокращений

АЧР	- Азиатская часть России
ГСА	- Глобальная служба атмосферы
БЗ	- биосферный заповедник
3,4-БП	- 3,4-бенз(а)пирен
ГГО	- Главная геофизическая обсерватория имени А.И.Воейкова
ГХИ	- Гидрохимический институт
ГХЦГ	- гексахлорциклогексан
ДДД	- дихлордифенилдихлорэтан
ДДЕ (ДДЭ)	- дихлордифенилдихлорэтилен
ДДТ	- дихлордифенилтрихлорэтан
ЕАНЕТ	- Сеть мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии
ЕМЕП	- Совместная программа наблюдения и оценки распространения загрязняющих воздух веществ на большие расстояния в Европе
ЕЧР	- Европейская часть России
ИГКЭ	- Институт глобального климата и экологии (ФГБУ «ИГКЭ»)
НУ	- нефтяные углеводороды
ОСО	- общее содержание озона
ПАУ	- полиароматические углеводороды
ПДК	- предельно допустимая концентрация
ПХБ	- полихлорбифенилы
СКФМ, Станция КФМ	- станция комплексного фоновго мониторинга
СНГ	- Содружество Независимых Государств
СПАВ	- синтетические поверхностно-активные вещества
ТМ	- тяжелые металлы
ХОП	- хлорорганические пестициды
ХССП	- сеть мониторинга химического состава снежного покрова

СПИСОК АВТОРОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ		Парамонов С.Г.	ФГБУ «ИГКЭ»	
ВВЕДЕНИЕ		Буйолов Ю.А.	ФГБУ «ИГКЭ»	
1	АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ И ОСАДКИ			
	1.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе	Парамонов С.Г., Алехина М.А., Иванов В.А., Конькова А.С., Пастухов Б.В.	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.2.	Физические и химические характеристики атмосферы	Безденежных В.А., Козлова Е.Н., Рябов А.В. Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Ивахов В.М., Русина Е.Н., Боброва В.К., Соколенко Л.Г., Зайнетдинов Б.Г., Занюков В.В., Соломатникова А.А., Павлова К.Г., Артамонова И.В., Банкова Т.В, Варгин П.Н., Хаттатов В.У.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУ «ГГО» ФГБУ «ЦАО»
	1.3.	Химический состав атмосферных осадков		
	1.3.1	Загрязняющие вещества в атмосферных осадках	Парамонов С.Г., Бурцева Л.В., Безденежных В.А., Рябов А.В., Устинова К.А.	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.3.2	Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	Першина Н.А., Павлова М.Т.	ФГБУ «ГГО»
	1.4.	Загрязнение воздуха и осадков соединениями серы и азота по данным станций мониторинга ЕАНЕТ	Громов С.А., Жигачева Е.С., Галушин Д.А., Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Нецветаева О.Г.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУ «ЛИН СО РАН»
	1.5.	Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих веществ	Брускина И.М., Громов С.А., Александрова М.С., Конькова Е. С., Кручина Е.Б., Ахметова Б.Р., Андриянова Д. В.	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.6	Фоновый уровень выпадений серы и азота по данным о загрязнении снежного покрова в регионах Российской Федерации	Манзон Д.А., Беспалов М.С.	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.7	Выпадения кислотообразующих веществ на территории субъектов Российской Федерации по результатам моделирования трансграничных переносов в регионе ЕМЕП за 2024 год	Галушин Д.А., Громов С.А.	ФГБУ «ИГКЭ»
2.	ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ			
	2.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности по данным сети станций комплексного фоновый мониторинга	Парамонова Т.А., Черногаева Г.М.	МГУ им. М.В. Ломоносова ФГБУ «ИГКЭ»
	2.2	Содержание загрязняющих веществ в почвах фоновых участков промышленных регионов по результатам наблюдательной сети Росгидромета	Павлова Н.Н., Лукьянова Н.Н., Башилова Н.И.	ФГБУ «НПО «Тайфун»
	2.3	Кумулятивное воздействие изменяющихся климатических факторов на приросты деревьев в различных типах местообитаний бореальных сосняков	Кухта А.Е., Максимова О.В., Громов С.А.	ФГБУ «ИГКЭ»
3.	ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ			
	3.1.	Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ	Парамонов С.Г., Бурцева Л.В., Козлова Е.Н. Позднякова Е.А., Литвинов К.В., Венгерова О.И, Зубарева О.В.	ФГБУ «ИГКЭ»
	3.2.	Данные станций гидрохимических наблюдений	Романюк О.Л., Первышева О.А., Рогозина Т.В., Лавренко Н.Ю.	ФГБУ «ГХИ»
	3.3	Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ	Жигачева Е.С., Громов С.А. Томберг И.В., Ходжер Т.В.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУ «ЛИН СО РАН»
	3.4.	Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям	Потютко О.М., Буйолов Ю.А., Лазарева Г.С., Пастухова Ю.А., Чамкина А.В.	ФГБУ «ИГКЭ»
4	МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ			
	Белгидромет: Лемутова М.И., Мельник Е.А. Департамент экологического мониторинга РГП «Казгидромет» (Республика Казахстан) Агентство по Гидрометеорологии Министерства природных ресурсов Узгидромет (Республика Узбекистан)			
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		Черногаева Г.М., Парамонов С.Г., Громов С.А.	ФГБУ «ИГКЭ»	

Review of the background state of the environment in the CIS countries in 2022.

Edited by Professor G. M. Chernogaeva

The Review summarizes the results of background monitoring of the state of the natural environment in the CIS countries in 2024. The review contains data on the levels of pollutants and trends of long-term changes in measured substances in the atmosphere and atmospheric precipitation, in soil, vegetation and surface waters in the background areas, as well as the results of an environmental assessment of the state of terrestrial and aquatic ecosystems.

The review is intended for state and public organizations interested in obtaining and using information about the state of the natural environment, as well as for a wide range of specialists working in the field of pollution assessment and environmental protection.

Conclusions

The assessment of trends in the background content of pollutants in atmospheric air and precipitation over the past 15-20 years, including 2024, on the territory of the CIS countries, indicates the preservation of conditions on their territory that ensure low background levels of concentration of heavy metals, as well as sulfur and nitrogen compounds in the natural environment. However, an analysis of changes in the content of pollutants in the atmospheric air in the European territory of Russia shows that the decrease in concentrations observed in the 1990s, due to the decline in industrial production, stopped in 2000-2001, and an increase in background atmospheric pollution with some pollutants can be expected.

The level of CO₂ concentration in the atmosphere of the northern latitudes reached another maximum in 2024. The average annual CO₂ concentration at the Teriberka station was 426.4 ppm, and the maximum monthly average values observed in the winter months exceeded 433 ppm. The growth rate of CO₂ concentration, which decreased in 2023 (DCO₂ = 2.0 ppm), exceeded again the global average, amounting to 3.0 ppm/year for 2024. In 2024, the average annual methane concentrations at the monitoring station in Prioksko-Terrasny BR ranged from 2027.2 ppb to 2168.3 ppb. The lowest concentrations of methane in the surface layer of the atmosphere are observed in the spring-summer period from May to July, which is typical for seasonal changes of the methane content in the air.

In general, 2024 was calm, there was no significant destruction of the ozone layer, and the level of UV radiation was within the normal range for the corresponding time of year. During the 50 years of observations of the total ozone content over the Russian Federation, the alternation of maxima and minima of the average annual TOC values with a period of 2.4 years with a "quasi-two-year" cycle was clearly manifested. In 2024, the average annual ozone layer thickness over the entire territory of the Russian Federation was 362.7 DU, which is significantly higher than the new norm (347 DU). In general, deviations in the monthly average values of the TOC were higher than normal or close to it for almost the entire year for all regions. They are observed in the spring-summer period from May to July, which is typical for seasonal changes in the methane content in the air.

In 2024, compared with the previous year, the degree of optical turbidity of the atmosphere decreased at most regional background stations. The only exceptions were Voeikovo and Khuzhir stations, where the ODA increased by 3.8% and 11.5%, respectively. In 2024, the most polluted station was Voeikovo station, located near St. Petersburg and directly affected by westerly winds. The maximum annual average values of the OPA at the station were recorded in March (ODA = 0.334) and in June (OPA = 0.337). The second place after Voeikovo in terms of atmospheric turbidity in 2024 was taken by the Memorable station (ODA = 0.258 ± 0.036), due to its steppe location and arid summer. The total level of optical turbidity of the atmosphere in 2024, with the exception of the Voeikovo station, practically did not exceed the value of the optical density of the atmosphere, equal to 0.250.

Compared to the previous year, in 2024 there were no significant changes in the potential gradient of the atmospheric electric field and the total electrical conductivity.

In 2024, the average annual background concentrations of trace metals in atmospheric precipitation remained at a low level. At all background monitoring stations, trace metal precipitation does not reach levels that pose a threat to ecosystems.

In 2024, according to observations at background monitoring stations of the chemical composition of precipitation, which are regional members of the Global Atmospheric Service (GSA) network WMO, the content of individual ions, mineralization, specific electrical conductivity and pH value differed from the average annual values by no more than 25%.

Acid precipitation with $\text{pH} < 4$ was not observed at Russian EMEP stations in 2024; at all stations, the frequency of precipitation with pH from 5 to 6 exceeded 50%. In 2024, there was a slight increase in precipitation of both sulfur and nitrogen from atmospheric precipitation at all Russian EMEP stations. Comparison of annual precipitation of sulfur and total nitrogen with precipitation in 2024 and the values of critical loads for these elements for the areas of the stations, allow us to conclude that the precipitation of sulfur and nitrogen is significantly lower than the level of critical loads for the regions of Russia in the areas of the Russian EMEP stations.

According to the data for the last 20 years, the average annual concentrations of gas impurities in the air at EANET stations tended to increase only for SO_2 in the lake region. Baikal. Concentrations of sulfur compounds in the atmospheric air, as well as gaseous and aerosol reduced forms of nitrogen, continue to decrease at the Primorskaya station. In the annual course of concentrations of sulfate and nitrate aerosols at regional stations, the maximum in the second half of the cold period is well established.

The snow cover monitoring data showed that in the winter period of 2023-2024, sulfur fluxes with atmospheric precipitation in most of the country amounted to less than $20 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$. Nitrogen deposition rates were in the range of $10\text{-}15 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$. In more than 80% of the territory of the Russian Federation, the average monthly pH by region in the winter period of 2023-2024 was in the range of 5.5 – 6.5.

Based on the results of processing modeling data on precipitation of sulfur and nitrogen compounds in the borders of the EMEP region, it was noted that in the subjects of the Russian Federation for the EDR in 2024, the fluxes of total (dry and precipitation) precipitation of oxidized sulfur and oxidized nitrogen continued to decrease or their changes were insignificant. Atmospheric fluxes have continued to change slightly for more than 10 years, with a slight decrease in precipitation on average over the past 5 years, however, for Moscow and some republics of the North Caucasus, there has been a tendency for their growth since 2013-2014, with an increase in precipitation over 5 years by 14-30%. According to the results of the analysis of the ranked list of regions by the level of oxidized sulfur intake from the atmosphere in 2024, the Moscow region became one of the regions with a very high density of total precipitation: in the capital, this indicator was 0.47 t/km^2 .

According to the results of the monitoring in 2024, the content of trace metals and persistent organic pollutants in the soils, as well as vegetative organs of woody and herbaceous vegetation of the background monitoring areas is within the range of average monthly-summer values. The content of priority organic pollutants in soils characterizes their ecological state as generally safe.

Analysis of the values of background mass fractions of industrial toxicants in the soils of the Russian Federation allows us to assess the state of the soils of the background areas as safe.

Based on the results of the analysis of a series of observations of the growth parameters of the Scots pine in different latitudes of the forest zone, it was found that when assessing the impact of climate change on the natural ecosystems of the European territory of Russia, the nature of the habitats and types of forests under study should be taken into account. The most representative indicators will be the growth rates of pine forests from habitats under conditions of growth that are far from optimal, and from the boundaries of the species' distribution range, where the sensitivity (by the nature of the increases) to changes in temperature and precipitation is greatest. At the same time, the obtained linear growth indices by smoothing the series of measured values make it possible to identify the desired climate signals.

The background concentrations of mercury, lead, and cadmium in the surface waters of most regions of Russia in 2024 corresponded to the ranges of values observed in the last 10 years. Concentrations of DDT isomers in all studied rivers did not exceed the limits of exposure. The levels of concentrations of organochlorine pesticides remained at the level of the previous measured data ranges.

An analysis of surface water quality by hydrochemical indicators has shown that in 2024, most observation points in the background areas are rated with good quality water as "relatively clean" or

"slightly polluted" over the long term. At the same time, the water quality deteriorated to the level of "polluted" in 2020-2024 in the Vorona River, Uvarovo, in 2023-2024 in the Lesnoy Voronezh River, Michurinsk.

In general, according to the results of background observations of the content of chemicals in surface waters in the areas of the EANET network stations, in 2024 in the Komarovka River (Primorye), the content of all major ions (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Mg^{2+}), with the exception of calcium and sodium, was lower than the long-term average values. At the same time, the pH values also turned out to be below the long-term average. For the Pereyemnaya River, the concentrations of the main ions, as well as the pH index, were at the level of long-term averages.

There was no deterioration in water quality in terms of hydrobiological indicators and the state of ecosystems in the background areas of water bodies in 2024 against the background of long-term dynamics. In the Barents, Baltic, Caspian, Kara, East Siberian, and Pacific hydrographic regions, ecosystems in all 22 background sites of selected water bodies did not undergo major changes in 2014-2024, and variations in water quality were within the same water quality class. The state of ecological well-being is typical for 15 of the 22 background sites. In the eight observed background points (r. Manoma, Jida, Suonan-nah, Lena (delta, middle and lower reaches) and Lake Khanka in the area of the Khankai Biosphere Reserve) the signs of negative anthropogenic impact have been identified. The ecosystems of the observed background objects in the European part of Russia, in the Barents, Baltic and Caspian hydrographic regions are in a state of under the anthropogenic ecological stress.

The content of priority pollutants in natural environments at the Berezinsky BR station (Republic of Belarus) indicates a low level of background pollution that does not pose a threat to the ecosystems of the Berezinsky biosphere reserve and their components. In General, the level of environmental pollution at this monitoring station corresponds to the level of environmental pollution in the European part of Russia.

The content of priority pollutants in natural environments at the monitoring station "Borovoye" (Republic of Kazakhstan) indicates a low level of background pollution that does not pose a danger to the ecosystems of the Shchuchinsk-Borovskaya resort zone.

The content of priority pollutants in natural environments at the Chatkal BR station (Republic of Uzbekistan) indicates a low level of background pollution that does not pose a threat to the ecosystems of the Chatkal biosphere reserve and their components.