

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

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



ИГКЭ

**ОБЗОР
ФОНОВОГО СОСТОЯНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
НА ТЕРРИТОРИИ СТРАН СНГ ЗА 2021 Г.**

2022

ФЕДЕРАЛЬНАЯ 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 2021 г.

Под редакцией
профессора Г.М. Черногаевой

УДК 551.510.42

В Обзоре представлены обобщенные результаты фоновый мониторинга состояния природной среды на территории стран СНГ за 2021 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 978-5-9631-1029-4

© - Росгидромет, 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2022 г.

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

Фотография на обложке взята с сайта:

<https://zapovednoe-podlemorye.ru/save/biosphere/?ysclid=labqoe2mlv16385873>

СОДЕРЖАНИЕ

			стр.
	ПРЕДИСЛОВИЕ		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	15
	1.2.3	Оптическая плотность и прозрачность атмосферы	21
	1.2.4	Электрические характеристики приземного слоя атмосферы	25
	1.3.	Химический состав атмосферных осадков	27
	1.3.1	Загрязняющие вещества в атмосферных осадках	27
	1.3.2	Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	29
	1.4.	Загрязнение воздуха и осадков соединениями серы и азота по данным станций мониторинга ЕАНЕТ	37
	1.5.	Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих веществ.	40
	1.6.	Фоновый уровень выпадений серы и азота по данным о загрязнении снежного покрова в регионах Российской Федерации.	44
2.	ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		48
	2.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности по данным сети станций комплексного фоновых мониторинга	48
	2.2	Содержание загрязняющих веществ в почвах фоновых участков промышленных регионов по результатам наблюдательной сети Росгидромета	53
3.	ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ		57
	3.1.	Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ	57
	3.2.	Данные станций гидрохимических наблюдений	58
	3.3	Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ	66
	3.4.	Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям	74
4	МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ		89
	4.1.	Березинский биосферный заповедник (Республика Беларусь)	89
	4.2.	СКФМ Боровое (Республика Казахстан)	92
5	ФОНОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РЕГИОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ.		95
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ		106
	Список сокращений		109
	Список авторов		110
	Conclusions		111

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 2021 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»

Обзор подготовлен в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120020490070-3 «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 в составе: Россия, ФГБУ «ИГКЭ» С.Г. Парамонов (руководитель группы), С.А. Громов.

Список авторов разделов текста Обзора представлен на стр.100.

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 национального парка «Барубай»), Чаткальский БЗ, Сары-Челекский БЗ, Ледник Абрамова (Узбекистан), Репетекский БЗ (Туркмения), Прейла (Литва), Кавказский БЗ, Приокско-Тerrasный 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 со-

держание 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.

По состоянию на 2021 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). 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 2021 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 2017 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, проводимых в рамках выполнения работ по расширению сети СКФМ.

Основной задачей сети КФМ является выявление антропогенного воздействия на фоновый 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 международ-

ными 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 среду, 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.

Таблица 1. Состав сети фонового мониторинга Российской Федерации и стран СНГ в 2021 году

Станция мониторинга	Программа наблюдений	Федеральная ООПТ
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 охранная 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	-
Лесной заповедник	ЕМЕП	охранная зона Центрально-Лесного БЗ
Янискоски	ЕМЕП	вблизи границы с государственным природным заповедником «Пасвик»
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	-
Новолятигорск	ГСА	-
Шаджатмаз	ГСА	-

Обзор подготовлен в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120020490070-3 «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 результатов проводился для периодов наблюдений с октября по март (холодный период), с апреля по сентябрь (теплый период). Средние значения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за месяц, сезон и год рассчитывались как среднегеометрические, в осадках - средневзвешенные.

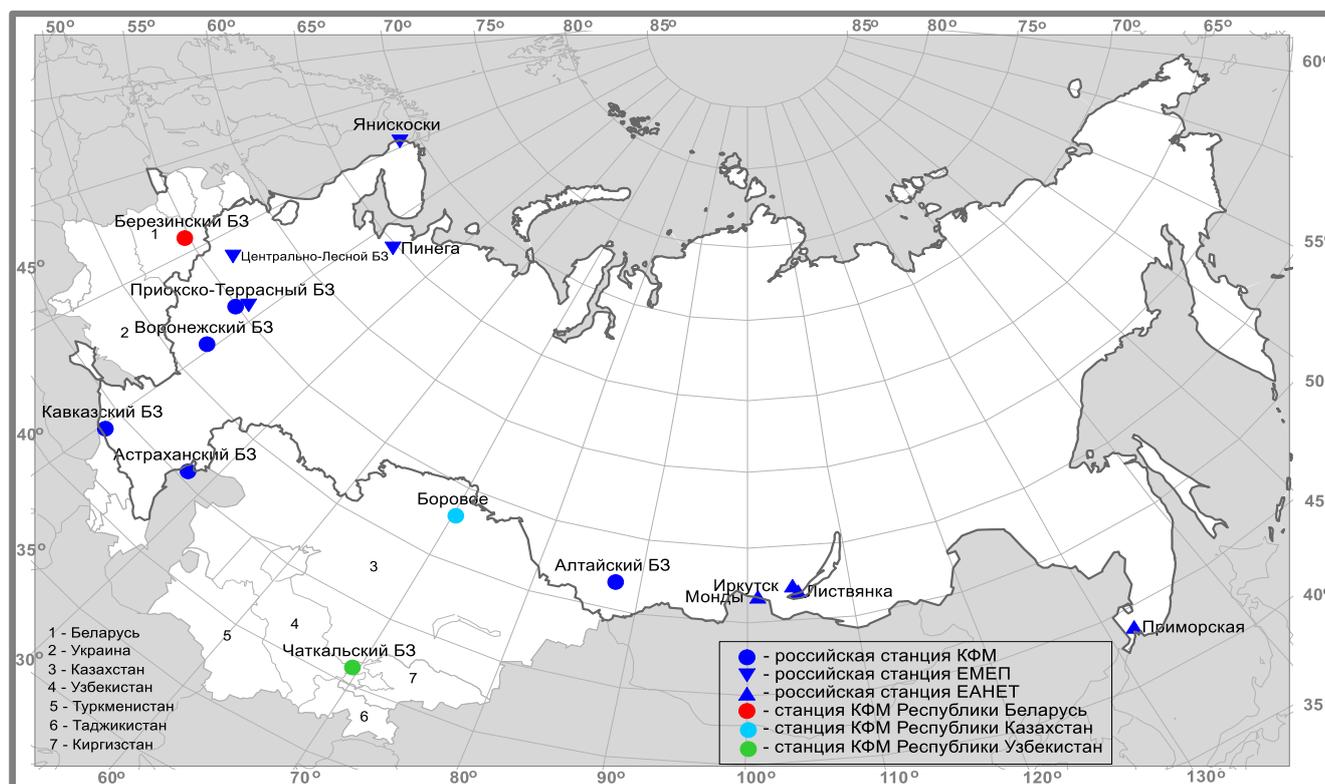


Рис. 1.1. Расположение станций фонового мониторинга природной среды в СНГ

1.1. Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Оценка фонового загрязнения атмосферного воздуха и осадков выполнена по данным сети станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ) и специализированных станций Глобальной службы атмосферы (ГСА ВМО). В 2021 г. наблюдения за фоновым загрязнением атмосферного воздуха проводились на четырех СКФМ, обеспечивая необходимый объем информации только для характеристики регионального фонового загрязнения атмосферы в Центральных районах Европейской части России (ЕЧР). Для характеристики загрязнения воздуха Уральского региона использованы данные многолетних наблюдений за концентрациями диоксидов серы и азота на станции Мариинск (наблюдения ведутся не по программе комплексного фонового мониторинга).

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 октября 2020 г. по сентябрь 2021 г.

(геофизический год).

Тяжелые металлы. Среднегодовые концентрации свинца в воздухе фоновых районов ЕЧР составили 1,03– 3,16 нг/м³, кадмия – 0,09 -0,15 нг/м³. На юге ЕЧР, в Астраханском БЗ продолжают регистрироваться повышенные уровни кадмия, что характерно для результатов наблюдений во всех средах на протяжении последних лет (табл. 1.1.1).

На всех территориях наблюдений содержание свинца было на том же уровне или несколько выше, чем в предыдущие годы. Значимых изменений концентраций кадмия в атмосфере фоновых территорий по сравнению с 2020 г. не произошло, за исключением Кавказского БЗ (рис. 1.1.1.), где средние значения увеличились почти в 2,5 раза.

Междусуточные изменения содержания свинца и кадмия в воздухе довольно значительны в течение года, в отдельные дни значения среднесуточных концентраций были существенно выше среднегодовых – более 100 нг/м³ для свинца (Воронежский БЗ) и более 10 нг/м³ для кадмия (Астраханский БЗ), а также существенно ниже среднегодовых концентраций – менее 0,1-0,5 нг/м³ и 0,01-0,05 нг/м³, соответственно. На всех территориях уровни содержания свинца и кадмия в воздухе выше в холодный период года.

Фоновое содержание ртути в атмосферном воздухе, измерения которого проводится только в центральном районе ЕЧР, сохраняется ниже 5 нг/м³: среднегодовая концентрация по сравнению с прошлым годом снизилась с 1,36 до 0,51 нг/м³ (табл. 1.1.1).

Таблица 1.1.1. Результаты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха на станциях комплексного фонового мониторинга в 2020-2021 гг. (числитель – среднегодовое значение, знаменатель – интервал изменений суточных концентраций)

Загрязняющие вещества	Приокско-Террасный БЗ	Воронежский БЗ	Астраханский БЗ	Кавказский БЗ
1	2	3	4	5
Pb, нг/м ³	<u>3,16</u> 0,27-26,4	<u>2,89</u> 0,06-109,0	<u>2,52</u> 0,39-42,2	<u>1,03</u> 0,02-9,1
Cd, нг/м ³	<u>0,09</u> 0,009-0,43	<u>0,13</u> 0,01-0,81	<u>0,39</u> 0,003-14,0	<u>0,15</u> 0,002-1,5
Hg, нг/м ³	<u>0,51</u> 0,03-27,0			
SO ₂ , мкг/м ³	<u>0,20</u> 0,05-3,2	<u>0,27</u> 0,02-3,47	<u>0,12</u> 0,01-2,75	<u>0,016</u> 0,01-0,03
NO ₂ , мкг/м ³	<u>4,24</u> 0,10-38,0	<u>4,03</u> 0,62-18,57	<u>1,61</u> 0,25-7,53	
SO ₄ , мкг/м ³	<u>1,01</u> 0,04-29,4		<u>0,89</u> 0,10-12,5	
Взвешенные частицы, мкг/м ³	<u>27,1</u> 1,0-320,0	<u>20,9</u> 8,0-39,0	<u>39,1</u> 6,5-839,6	<u>16,9</u> 3,8-78,7

Взвешенные вещества. В 2021 г. среднегодовые концентрации взвешенных веществ в воздухе на ЕЧР изменялись в пределах 17–39 мкг/м³, что соответствует уровню значений последних 10 лет (табл. 1.1.1, рис. 1.1.1). Эпизодическое повышение концентраций взвешенных веществ наблюдалось в теплый период года: отдельные максимальные среднесуточные концентрации достигали 840 мкг/м³ в Астраханском БЗ (табл. 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 2021 г. среднегодовые фоновые концентрации диоксида серы на станциях ЕЧР сохранились на низком уровне – около 0,02–0,3 мкг/м³ (рис. 1.1.2). В холодный период года наблюдались более высокие концентрации диоксида серы, увеличиваясь в отдельные сутки до 3,5 мкг/м³ в центре ЕЧР (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 2021 г. среднегодовые фоновые концентрации диоксида азота в воздухе на ЕЧР сохранились на уровне прошлых лет, изменяясь от 1,6 до 4,2 мкг/м³ (рис. 1.1.2). Сезонные изменения фоновых концентраций диоксида азота ясно выражены: в холодный период в центре ЕЧР наблюдаются максимальные значения, и повышается повторяемость среднесуточных высоких концентраций (табл. 1.1.1).

Сульфаты. В 2021 г. среднегодовые фоновые концентрации сульфатов в центре ЕЧР составляли около 1,01 мкг/м³, при этом значения меньше 3 мкг/м³ были зарегистрированы в 95% измерений. В южных районах ЕЧР среднегодовые концентрации были несколько ниже, чем в центре ЕЧР - около 0,9 мкг/м³ (рис. 1.1.1). 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.

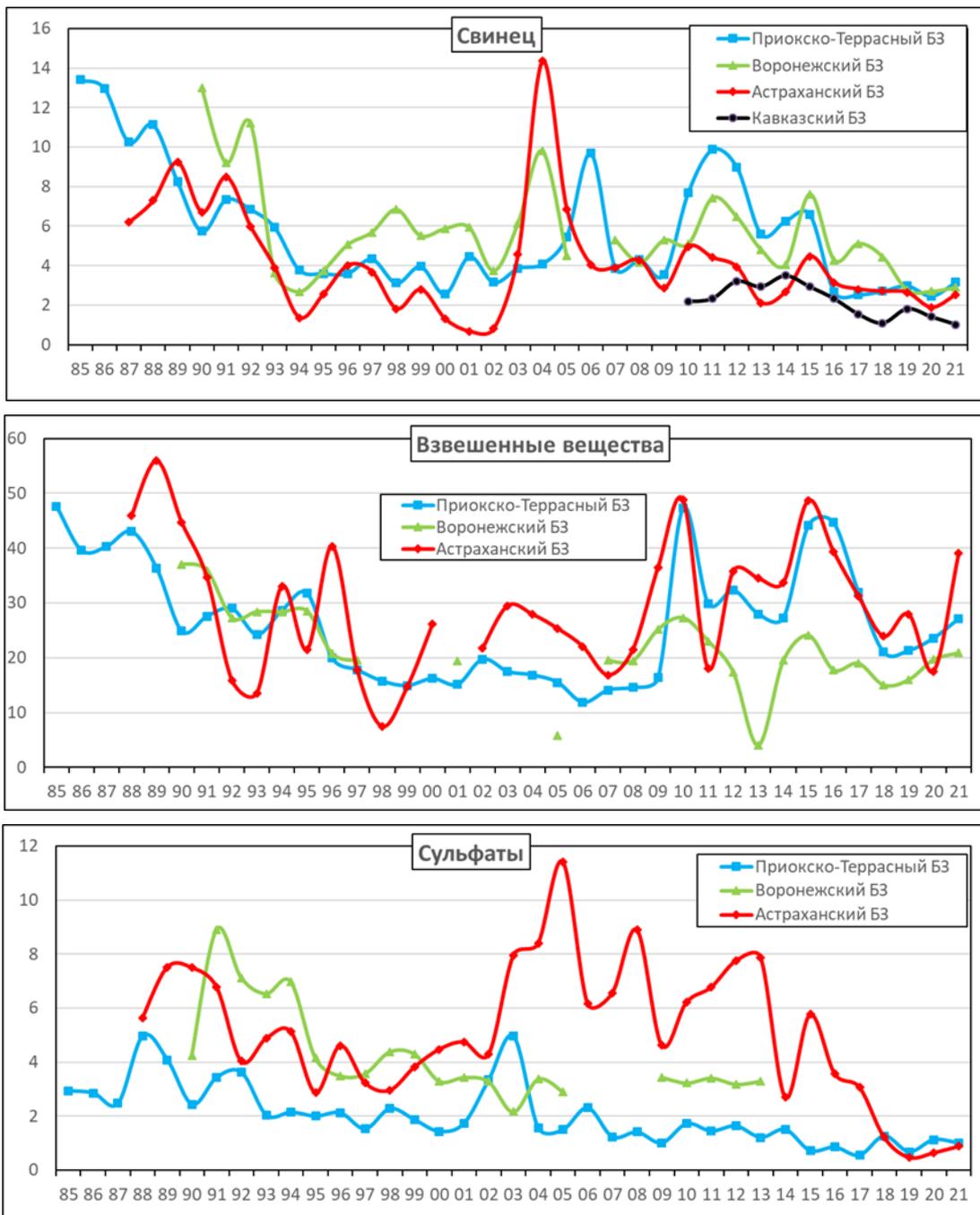


Рис. 1.1.1. Многолетнее изменение среднегодового содержания свинца ($\mu\text{г}/\text{м}^3$), взвешенных веществ и сульфатов ($\mu\text{г}/\text{м}^3$)

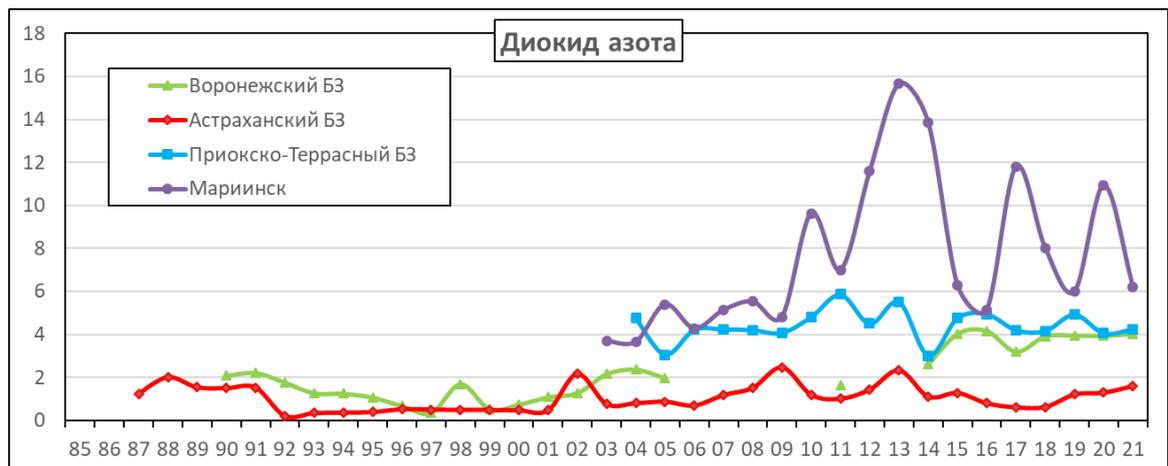
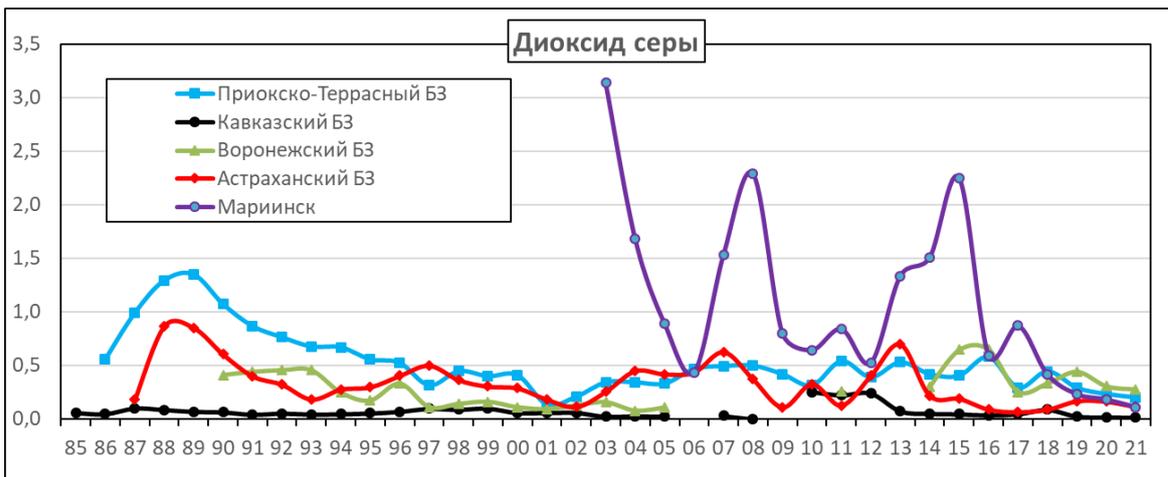


Рис. 1.1.2. Изменение фонового содержания диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе фоновых районов ($\mu\text{г}/\text{м}^3$) за многолетний период (геофизические года)

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 результатов измерений, проводимых на четырех станциях наблюдений за содержанием парниковых газов, входящих в Глобальную службу атмосферы (ГСА) ВМО. Характеристики станций приведены в таблице 2.3. Станция Териберка (Кольский полуостров, побережье Баренцева моря) и станция Тикси (Арктическое побережье, море Лаптевых, залив Сого) расположены в условиях, близких к фоновым. Станция Новый Порт (полуостров Ямал, берег Обской губы) и Воейково (пригород Санкт-Петербурга) находятся в районах крупномасштабных антропогенных источников парниковых газов. Для сравнения привлечены данные станции Барроу, расположенной в том же широтном поясе (71,3°с.ш., 156,6°з.д.). В Мировой центр данных ВМО по парниковым газам (WDCGG) данные этой станции представляет Национальная Администрация по Океану и Атмосфере США (NOAA, ESRL, GMD).

Данные станций Териберка и Тикси передаются в мировой центр данных (МЦД) по парниковым газам (WDCGG), где используются при проведении глобального анализа полей указанных газов.

Таблица 1.2.1.1. Станции наблюдений за парниковыми газами ГГО

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

В таблице 2.4 приведены результаты измерений за последние 11 лет на двух фоновых станциях Териберка и Тикси.

Уровень концентрации CO₂ в атмосфере северных широт достиг в 2021 г. очередного максимума. Среднегодовое значение на фоновых станциях Российской Федерации приблизилось к 419 млн⁻¹, а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превысили значение 425 млн⁻¹.

Темпы роста концентрации CO₂, снизившиеся в 2020 г. до значений 1,8–2,2 млн⁻¹ в год (табл. 1.2.1.2), начинают восстанавливаться в 2021 г., достигнув величины 2,6 млн⁻¹ в год. Вероятной причиной наблюдавшегося в 2020 г. снижения темпов роста CO₂ является введение ограничений, связанных с пандемией Covid-19. Сокращение выбросов в 2020 г. было зафиксировано, как прямыми измерениями потоков CO₂ в семи городах Европы, так и инвентаризационными оценками. Результаты исследований влияния ограничений, связанных с COVID-19, на содержание CO₂ в атмосфере обобщены в Бюллетене ВМО по парниковым газам №16 от 23 ноября 2020 г.

Результаты мониторинга парниковых газов на российских арктических станциях представлены на рис. 1.2.1.1 (среднемесячные значения концентрации CO₂ и CH₄) в сравнении с данными станции Барроу. Уровень концентрации и амплитуда сезонного хода на российских станциях Териберка и Тикси близки к данным станции Барроу (рис. 1.2.1.2). Особенности сезонного хода концентрации парниковых газов на станции Новый Порт обусловлены расположенными в ее окрестностях крупномасштабными техногенными и естественными источниками.

Таблица 1.2.1.2. Среднегодовые значения и межгодовой рост (Δ) концентрации CH_4 и CO_2

Год	Териберка				Тикси			
	CH_4 , млрд $^{-1}$	ΔCH_4 , млрд $^{-1}$	CO_2 , млн $^{-1}$	ΔCO_2 , млн $^{-1}$	CH_4 , млрд $^{-1}$	ΔCH_4 , млрд $^{-1}$	CO_2 , млн $^{-1}$	ΔCO_2 , млн $^{-1}$
2011	1906,2	0,8	394,3	1,8	1913,2		394,2	
2012	1910,2	4,0	396,6	2,3	1910,2	-3,0	396,1	1,9
2013	1907,8	-2,4	398,8	2,2	1915,1	4,9	399,1	3,0
2014	1913,5	5,7	400,7	1,9	1930,8	15,7	400,7	1,6
2015	1924,4	10,9	402,2	1,5	1940,1	9,3	403,2	2,5
2016	1946,7	22,3	405,7	3,4	1946,4	6,3	406,1	2,9
2017	1947,1	0,4	409,1	3,5	1956,7	10,3	408,7	2,6
2018	1950,4	3,3	411,4	2,2	1960,4	3,7	411,3	2,6
2019	1961,8	11,4	414,1	2,7	1983,7	23,3	414,3	3,0
2020	1980,4	18,6	415,8	1,8	1993,6	9,9	416,5	2,2
2021	1999,1	18,7	418,5	2,6	2014,1	20,5	419,1	2,6

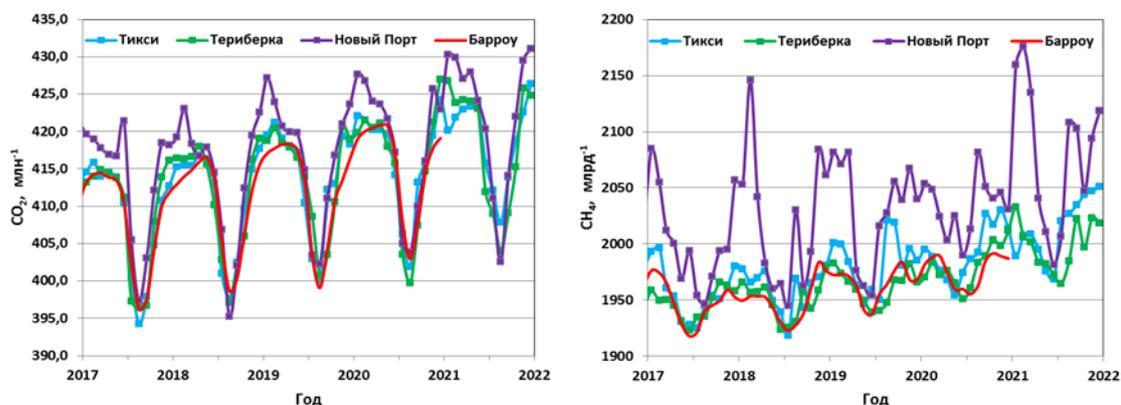


Рис. 1.2.1.1. Временной ход концентраций CO_2 и CH_4 на российских арктических станциях в сравнении с данными станции Барроу (НУОА, США)

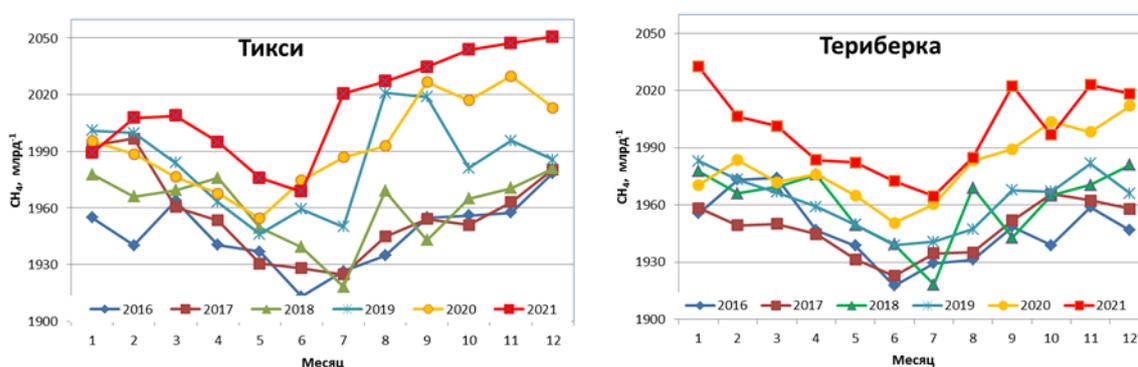


Рис. 1.2.1.2. Сезонный ход концентрации CH_4 на станциях Тикси и Териберка

Прирост концентрации метана в 2021 г. для большинства месяцев составил больше 20 млрд $^{-1}$. Среднегодовая концентрация метана приблизилась к значению 2000 млрд $^{-1}$, а на станции Тикси превысила это значение.

Для станций, расположенных в окрестностях крупномасштабных источников, средняя за многолетний период скорость роста концентрации парниковых газов не сильно отличается от глобального тренда. Так, для десятилетнего периода (2009-2019 гг.) концентрация CO_2 на стан-

ции Новый Порт увеличивалась со скоростью 2,2 млн⁻¹/год при значении глобального тренда за этот же период равного 2,4 млн⁻¹.

Влияние источников парниковых газов, действующих в районах расположения станций, на основе определения превышения концентрации над фоновым уровнем, для станций Новый Порт, Воейково и Санкт-Петербург (до 2016 г.) представлены в таблице 1.2.1.2 и на рис. 1.2.1.3. При определении превышения в качестве фонового уровня использованы данные станции Териберка.

Станция Новый Порт расположена на побережье Обской губы. Данные измерений на этой станции подвержены влиянию как техногенных, так и естественных (увлажненные территории) источников. Максимальные значения превышений наблюдаются в зимний период в основном за счет снижения высоты слоя перемешивания атмосферы и увеличения антропогенных выбросов, и достигают 10 млн⁻¹ для CO₂ и 150-180 млрд⁻¹ для CH₄.

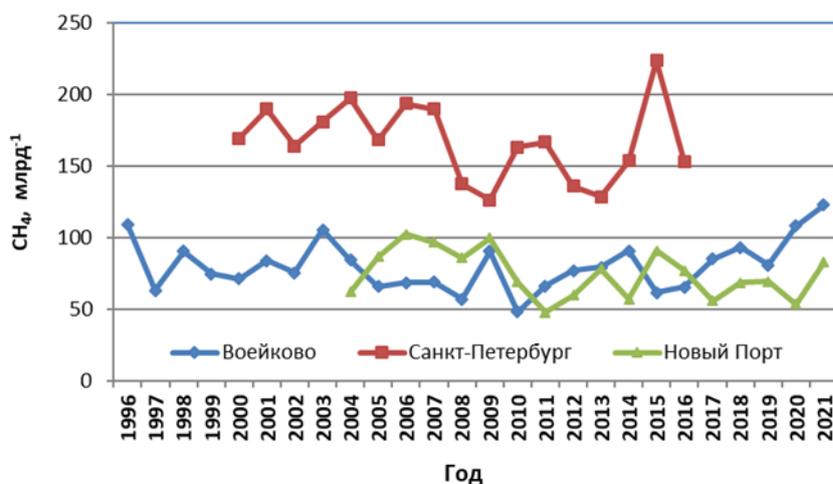


Рис. 1.2.1.3. Среднегодовое превышение концентрации CH₄ над фоновым уровнем

Для станций Новый Порт и Воейково среднее за период измерений превышение концентрации метана над фоновым уровнем составляет около 4%, непосредственно в Санкт-Петербурге около 9%. Наблюдаемое в Воейково в 2021 г. превышение концентрации метана над фоновым уровнем достигло максимального значения (122 млрд⁻¹) за весь период измерений.

Таблица 1.2.1.2. Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем

Станции	Новый Порт	Воейково	Санкт-Петербург
Периоды измерений	2004-2021	1996-2021	2000-2016
CH ₄ , млрд ⁻¹	74 ±17	80±15	167±27
CH ₄ , %	3,9	4,2	8,8
CO ₂ , млн ⁻¹	4,3±1,2	-	-
CO ₂ , %	1,1	-	-

1.2.2. Общее содержание озона.

Анализ общего содержания озона (ОСО) выполнен по данным отечественной сети фильтровых озонметров М-124 с привлечением данных, поступающих в Мировой центр данных ВМО по озону и ультрафиолетовой радиации (WOUDC) в Канаде, а также данных спутниковой аппаратуры OMI (США)

Проведен анализ среднемесячных значений ОСО путем сравнения с нормой - средними многолетними значениями по данным измерений «NIMBUS-7»/TOMS за 1978–1988 гг.

Отклонения среднемесячных значений ОСО над территорией России от нормы на протяжении всего 2021 г., в основном, имели отрицательные значения, до -20% в марте. Над северными районами европейской части РФ (в пределах области измерений) превышение ОСО в поле отклонений от средних многолетних за февраль 2021 г. достигало 14%, до 420÷450 е.Д. (рис. 1.2.2.1).

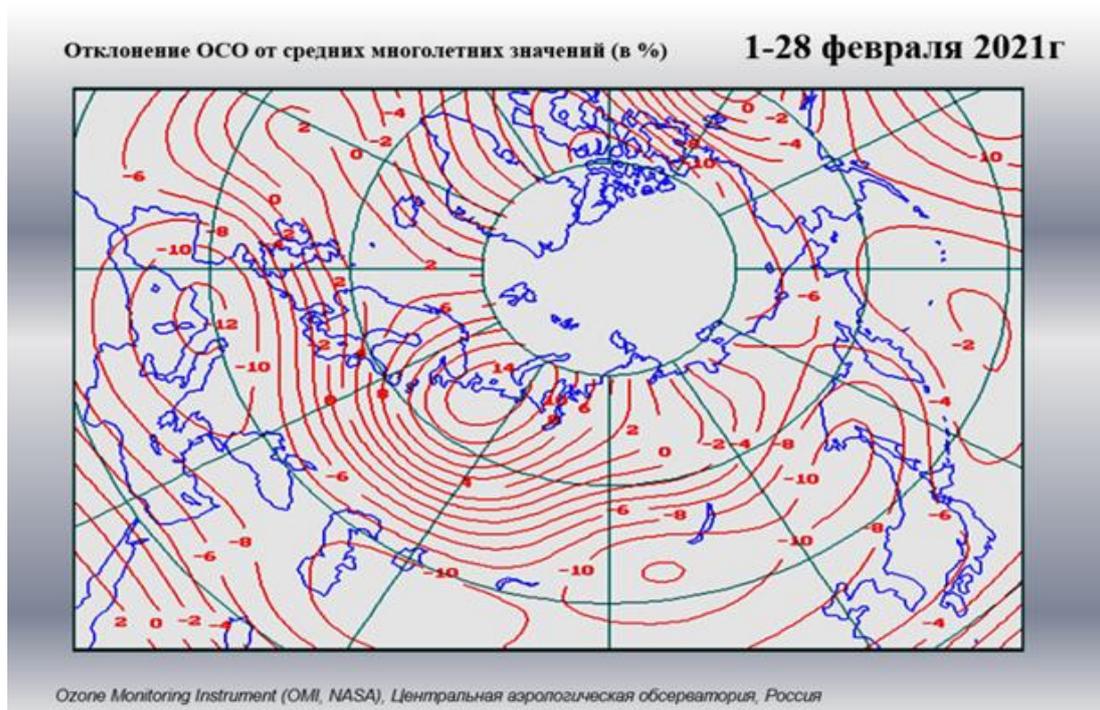


Рис. 1.2.2.1. Поле отклонений (%) общего содержания озона в феврале 2021 г. от среднемесячных многолетних значений

Особенности зимнего сезона 2020-2021 гг.

Именно в течение зимне-весеннего сезона происходят наиболее значимые процессы в атмосфере, формирующие картину состояния озонового слоя за год. Основными факторами, влияющими на концентрацию озона, являются: устойчивость полярного стратосферного вихря, направление его смещения при внезапных стратосферных потеплениях, химическое разрушение озона при образовании полярных стратосферных облаков. Для оценки вышеперечисленных факторов был проведён анализ динамического взаимодействия стратосферы и тропосферы по итогам зимне-весеннего периода 2020–2021 гг. Зимний сезон этого периода в стратосфере Арктики характеризовался стратосферным полярным вихрем, ослабленным в начале января в результате главного внезапного стратосферного потепления (ВСП), сопровождавшегося усилением Алеутского антициклона. После начавшегося 5 января и продолжавшегося около 3 недель ВСП и до завершения зимнего сезона температура внутри вихря сохранялась выше пороговых значений для образования полярных стратосферных облаков, что предотвратило сильное разрушение озонового слоя.

В целом в 2021 г. не было отмечено значительного разрушения озонового слоя и, как следствие, экстремальных уровней УФ-В радиации, не характерных для времени года во всех регионах Российской Федерации и на сопредельных территориях.

Особенности состояния озонового слоя над регионами РФ

Измерения ОСО на территории РФ

Анализ полученных результатов измерений ОСО на озонметрических станциях России в 2021 г., так же, как и в предыдущие годы, был произведен на основе разделения 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 позволяют получать данные ОСО с высокой степенью надежности.

В настоящем Обзоре использованы данные озонметрических станций, которые соответствуют нормам качества, удовлетворяющим требованиям ВМО. Перечень станций, их распределение по регионам и принадлежность к определенным субъектам Российской Федерации приведены в табл. 1.2.2.1.

Таблица 1.2.2.1. Распределение по регионам и федеральным округам озонметрических станций, на которых проводились измерения ОСО в 2021 г.

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	Воронеж, Цимлянск, Карадаг, Самара
Западная Сибирь (ЗС)	Уральский и Сибирский	О-в Хейса, Туруханск, Екатеринбург, Омск, Томск
Восточная Сибирь (ВС)	Сибирский и Дальневосточный	Тикси, Якутск, Оленок, О-в Котельный, Тура, Витим, Красноярск, Иркутск
Дальний Восток (ДВ)	Дальневосточный	Магадан, Петропавловск-Камчатский, Владивосток

Продолжительность наблюдений ОСО, выполненных по одной методике, составляет более 45 лет. Многолетние ряды наблюдений отчетливо проявили существенные и преимущественно меридиональные различия сезонного хода ОСО на протяженной территории РФ. Полученные ряды наблюдений позволили рассчитать климатические нормы, за которые приняты средние многолетние значения ОСО за 1973–2002 гг. для регионов РФ (табл. 1.2.2.2.).

Многолетние вариации ОСО над территорией РФ

Среднегодовые значения ОСО над территорией РФ в целом за 1973–2020 гг. представлены на рис. 1.2.2.2.

Весь 45-летний ряд значений ОСО может быть разделен на три 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);
- 1996–2021 гг. – существенные межгодовые колебания при незначительном отрицательном общем тренде.

В 1993 г. наблюдалась минимальная толщина озонового слоя.

В течение 1973–2021 гг. толщина озонового слоя ниже нормы (353 е.Д.) более чем на 5% наблюдалась в следующие годы: 1992 г. (-5,4%), 1993 г. (-7,1%), 1995 г. (-5,9%), 2008 г. (-5,4%), 2011 г. (-5,8%), 2015 г. (- 5,6%).

В течение 45 лет наблюдений ОСО над Российской Федерацией совершенно отчетливо проявилось чередование максимумов и минимумов среднегодовых значений ОСО с периодом 2,4 года с «квазидвухлетней» цикличностью.

Такого же рода многолетние вариации ОСО в умеренных и полярных широтах Северного полушария были отмечены и мировой озонметрической сетью.

Таблица 1.2.2.2. Общее содержание озона в различных регионах России в 2021 г., норма** и отклонения от нормы (%)

Месяцы / Регионы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
<i>Общее содержание озона в 2021 г., е.Д.*</i>													
Сев. ЕЧР	328	443	405	394	377	340	327	314	287	278	302	321	343
Юг ЕЧР	328	392	407	370	346	341	328	314	310	300	293	326	338
ЗС	335	432	400	375	372	360	339	317	302	270	321	359	349
ВС	371	437	388	404	392	356	321	305	287	296	324	316	350
ДВ	445	439	427	411	388	365	327	322	311	333	370	420	380
<i>Отклонения ОСО в 2021 г. от нормы, %</i>													
Сев. ЕЧР	-3	17	3,7	-1,1	-0,6	-3,3	-1,6	-0,5	-4,7	-4,1	5,2	3,0	0,8
Юг ЕЧР	-5,2	5,6	7,2	-2,1	-5,5	-2,7	-1,3	-1,9	0,5	1,0	-2,5	2,3	-0,4
ЗС	-7,0	12,8	2	-4,2	-2,3	1,7	1,6	-1,3	-2,2	-9,3	7,1	11,2	0,8
ВС	-5	5	-9	-5,7	-2,5	-0,4	-1,7	-3,5	-8,7	-5,5	0,4	-7,2	-3,6
ДВ	4	-2	-6	-5	-2	1,3	-0,9	3,2	-1,9	0,7	1,9	6,7	0,0
<i>Норма, е.Д. и среднеквадратические отклонения, %</i>													
Север ЕЧР	339 8.0	379 8.7	391 7.6	398 6.3	379 3.7	352 3.4	332 3.3	315 3.5	301 3.3	289 3.5	287 6.3	312 7.1	339 4.1
Юг ЕЧР	346 5.5	372 5.9	380 5.5	378 5.3	366 3.8	350 3.4	333 3.0	321 3.1	308 2.9	297 3.4	300 3.7	319 4.7	339 2.9
ЗС	360 5.3	383 6.3	393 7.3	392 6.6	381 4.2	354 3.1	334 3.0	321 3.1	309 3.2	298 4.4	300 4.7	323 5.4	346 3.2
ВС	388 6.1	415 7.0	429 7.9	428 5.1	402 5.5	358 3.6	327 3.4	316 3.2	314 3.5	313 5.1	323 5.0	340 7.4	363 4.1
ДВ	428 4.4	447 4.5	453 5.1	431 5.1	398 6.7	360 3.3	330 3.3	312 3.5	317 4.4	331 4.8	363 6.1	393 5.4	380 2.8

Примечание: * 1 е.Д. = 0.001 атм.-см;

**норма - средние многолетние значения и средние квадратичные отклонения (нижняя строка) за 1973-2002 гг.

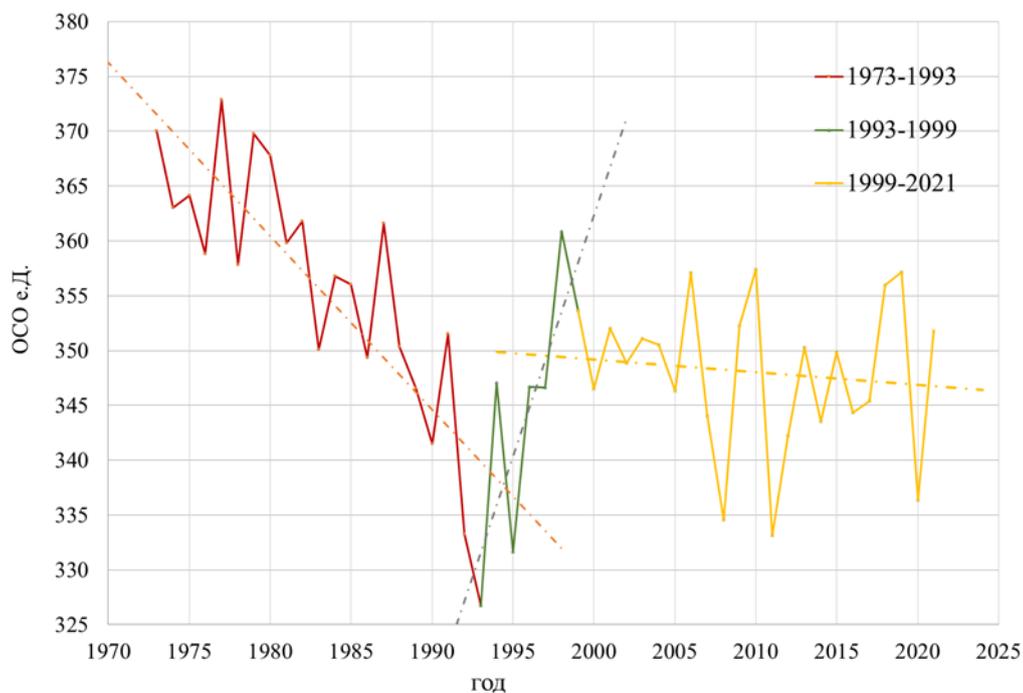


Рис. 1.2.2.2. Среднегодовые значения ОСО над территорией РФ в период 1973–2021 гг.

Вариации поля ОСО над регионами РФ в 2021 г.

Результаты расчета среднемесячных значений ОСО над регионами РФ в 2021 г. и их отклонения от нормы приведены в табл. 1.2.2.2 и представлены на рис. 1.2.2.3.

Над всей территорией Российской Федерации в 2021 г. средняя за год толщина озонового слоя составила 352 е.Д. и оказалась очень близкой к норме (353 е.Д.). В начале января продолжилась ситуация, заложенная в 2020 г., в течение которого наблюдался практически постоянный дефицит озона, а масштабные области с отрицательными аномалиями просуществовали существенно дольше обычного. В целом некоторый дефицит озона прослеживался практически в течение всего года.

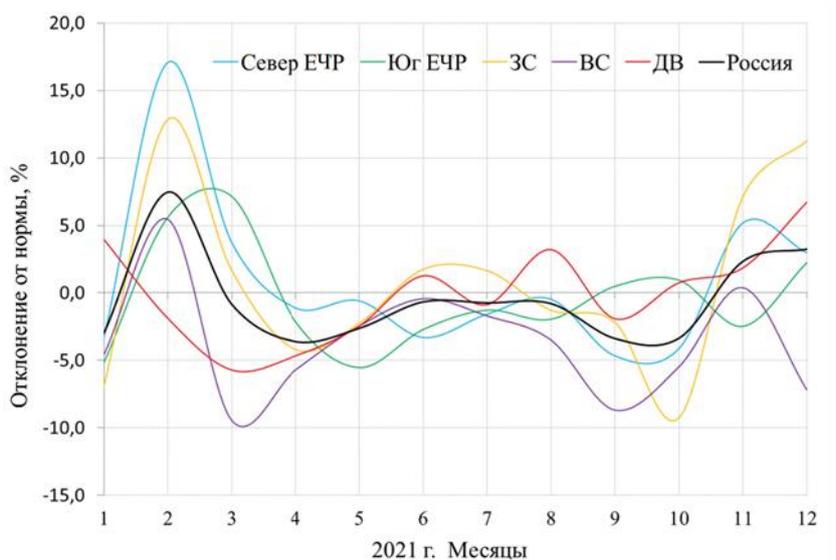


Рис. 1.2.2.3. Отклонения среднемесячных значений ОСО от норм по регионам РФ в 2021 г. (Север ЕЧР – Север Европейской части России, Юг ЕЧР – Юг Европейской части России, ЗС – Западная Сибирь, ВС – Восточная Сибирь, ДВ – Дальний восток)

Исключением стал февраль, когда масштабные области с высоким содержанием озона формировались и устойчиво держались практически над всей территорией РФ. Отклонения от нормы в центральной части России в середине месяца составляли около 550 е.Д. и превышали 40% в среднедневных значениях. Дальний Восток оказался единственным регионом с незначительными, но почти постоянными отрицательными отклонениями.

В середине мая установилась летняя циркуляция. Летом поле озона было не такое сглаженное, как обычно. Во всех регионах наблюдалось чередование «хаотичных» кратковременных положительных и отрицательных аномалий. Арктическая область с традиционно низким содержанием озона была существенно расширена, заходила вглубь материка и периодически смыкалась с тропической областью низких значений ОСО. Поскольку положение «языков» постоянно менялось, значительных отклонений от нормы ни в одном регионе в летний период не наблюдалось, но для всех регионов были характерны пониженные значения. В августе-сентябре поле ОСО практически над всей территорией России характеризовалось пониженными значениями и только к концу года началось накопление озона, особенно заметное над Дальним Востоком и Западной Сибирью.

На Севере ЕЧР среднегодовой уровень ОСО в 2021 г. был близок к норме (0,8 %). В течение всего года наблюдалось чередование положительных и отрицательных аномалий со значительными колебаниями по амплитуде, центр которых чаще всего располагался над

Кольским полуостровом. Данное чередование привело к достаточно нейтральным среднемесячным значениям при заметных аномалиях в ежедневных станционных данных. Исключением стал февраль, когда значение ОСО было выше нормы на 17%. В целом, отклонения от нормы не превышали значения его стандартного распределения.

На Юге ЕЧР среднегодовой уровень ОСО в 2021 г. был близок к норме (-0,4 %). Значительных аномалий в поле озона не наблюдалось. В течение года регион неоднократно оказывался в зоне умеренных положительных аномалий, но в целом среднемесячные значения по региону были устойчиво пониженными. Максимальные положительные отклонения от нормы наблюдались в феврале-марте (до +7%), а отрицательные в январе и мае (-5%).

Над Западной Сибирью, как и над остальной территорией РФ, среднегодовой уровень ОСО в 2021 г. был близок к норме (0,8 %). В отличие от других регионов амплитуда колебаний со сменой знака отклонений выявлена гораздо ярче. Связано это с тем, что именно над Западной Сибирью аномалии разного знака были наиболее устойчивы. Максимальные положительные отклонения от нормы наблюдались в феврале (+12.8%) и декабре (+11.2%), а отрицательные в январе (-7.0%) и октябре (-9.3%). В период с марта по сентябрь отклонения от норм не превышали статистически ожидаемых значений.

Над Восточной Сибирью среднее за год содержание озона составило 350 е.Д. и по сравнению с другими регионами было ощутимо ниже нормы (-3,6 %). В течение всего года наблюдались значения ОСО ниже нормы. Наиболее значимые отрицательные отклонения были зафиксированы в сентябре (-8.7%) и в декабре (-7,2). Единственный месяц, когда среднемесячное значение было выше нормы - февраль (+5%).

На Дальнем Востоке поле ОСО в течение года было изменчивым, характеризовалось то пониженными, то повышенными значениями, но отклонения от нормы в среднемесячных значениях были менее значимы, чем в других регионах. Наиболее весомое отрицательное отклонение имело место в марте (-6%), а положительное - в декабре (+6.7%). Среднее по региону за год значение ОСО составило 380 е. Д., что соответствует норме для региона.

Поле ОСО и особенности циркуляции 2021 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, характерными для рассматриваемого периода.

Распределение ОСО над территорией Российской Федерации и его вариации в 2021 г. имели ряд особенностей. Серьезный дефицит озона, заложенный в 2020 г., оказывал ощутимое влияние на поле ОСО в течение всего года.

В целом значительных и особенно масштабных аномальных областей в течение года не наблюдалось, но само взаиморасположение областей с высоким и низким озоном было не совсем стандартным. Часто возникали ситуации, когда над западной половиной России задерживалась воздушная масса с более высокими значениями ОСО, а над восточной - с низкими и наоборот. Регулярно в течение года наблюдалось смыкание Арктического и Тропического воздуха с образованием характерного «коридора» с низкими значениями ОСО. Смыкания подобного рода преимущественно происходили над Сибирью или Дальним Востоком.

1.2.3. Оптическая плотность и прозрачность атмосферы

Интегральная оптическая плотность (синонимы – толщина, толща) атмосферы (ОПА) связана с интегральной прозрачностью атмосферы соотношением

$$\text{ОПА} = -0,5 \ln (S_{p,30} / S_0) = -\ln P_2 . \quad (1)$$

Здесь $S_{p,30}$ – величина измеренного потока прямой солнечной радиации в кВт/м², 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 общего оптического замутнения атмосферы. ОПА более чувствительна к изменению состояния атмосферы по сравнению с P_2 (см. вышеприведенную формулу), поэтому в дальнейшем анализируется именно этот параметр.

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 1.2.3.1 парные к соответствующим фоновым станциям города расположены на строку ниже и отмечены звездочками.

Таблица 1.2.3.1. Координаты региональных станций фонового мониторинга, ведущих наблюдения за оптической плотностью и интегральной прозрачностью атмосферы

Станция	Район расположения	Широта в град. с.ш.	Долгота в град. в.д.
Туруханск	Красноярский край	65,8	87,9
Усть-Вымь	Республика Коми	62,2	50,4
Сыктывкар*	Республика Коми	61,7	50,8
Воейково	Ленинградская обл.	60,0	30,7
Памятное	Курганская обл.	56,0	65,7
Курган*	Курганская обл.	55,5	65,4
Хужир	Иркутская обл., о-в Ольхон (оз. Байкал)	53,2	107,3
Иркутск*	Иркутская обл.	52,2	104,3
Шаджатмаз	Карачаево-Черкесская Республика	43,7	42,7
О-в Диксон**	Красноярский край (Арктика)	73,5	80,3

* Городские станции, являющиеся парными фоновым, указанным на строку выше

** станция Диксон начала присылать свою информацию с 2014 г.

Средние за 2021 и 2020 гг значения P_2 и ОПА для региональных станций фонового мониторинга и трех парных им городов приводятся в таблице 1.2.3.2.

Как следует из табл. 1.2.3.2, на большинстве рассматриваемых станций в 2021 г. отмечалось уменьшение оптической плотности атмосферы и, соответственно, увеличение её прозрачности по сравнению с 2020 г. На двух станциях, Памятное и Хужир, значения ОПА и P_2 не изменились, на станциях Воейково и о-в Диксон ОПА несколько повысились. Наименьшая степень замутнения атмосферы ($\text{ОПА} = 0,168 \pm 0,025$) наблюдалась на горной станции Шаджатмаз.

Таблица 1.2.3.2. Средние за наблюдательный период значения ОПА и P_2 , стандартные отклонения ($\pm\sigma$) их средних месячных значений относительно среднего за год на региональных станциях фоновых мониторинга в 2020 и 2021 гг.

Станция	ОПА $\pm\sigma$ 2021 г.	ОПА $\pm\sigma$ 2020 г.	$P_2\pm\sigma$ 2021 г.	$P_2\pm\sigma$ 2020 г.
Туруханск	0,234 \pm 0,018	0,242 \pm 0,044	0,792 \pm 0,014	0,786 \pm 0,033
Усть-Вымь	0,235 \pm 0,025	0,264 \pm 0,040	0,791 \pm 0,020	0,768 \pm 0,030
Сыктывкар*	0,245 \pm 0,019	0,269 \pm 0,032	0,783 \pm 0,015	0,765 \pm 0,024
Воейково	0,260 \pm 0,023	0,257 \pm 0,037	0,772 \pm 0,025	0,774 \pm 0,028
Памятное	0,246 \pm 0,040	0,246 \pm 0,042	0,782 \pm 0,031	0,782 \pm 0,032
Курган*	0,266 \pm 0,031	0,279 \pm 0,042	0,767 \pm 0,023	0,758 \pm 0,031
Хужир	0,236 \pm 0,044	0,236 \pm 0,038	0,790 \pm 0,034	0,790 \pm 0,029
Иркутск*	0,236 \pm 0,035	0,256 \pm 0,032	0,790 \pm 0,027	0,776 \pm 0,040
Шаджатмаз	0,168 \pm 0,025	0,194 \pm 0,033	0,845 \pm 0,021	0,824 \pm 0,027
о-в Диксон	0,239 \pm 0,018	0,227 \pm 0,011	0,788 \pm 0,014	0,797 \pm 0,008

Сравнение осредненных за 2021 г. значений ОПА с 30-летней нормой ОПА приведено на рис. 1.2.3.1.

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.

В 2021 г. на всех рассматриваемых станциях ОПА была существенно ниже нормы, за исключением станции Туруханск, где значение ОПА по сравнению с нормой не изменилось. На станциях Шаджатмаз и Иркутск* это снижение составило почти -12%. Таким образом, можно говорить об общем снижении оптического загрязнения атмосферы в 2021 г. относительно 30-летней нормы в районах проведения фоновых наблюдений.

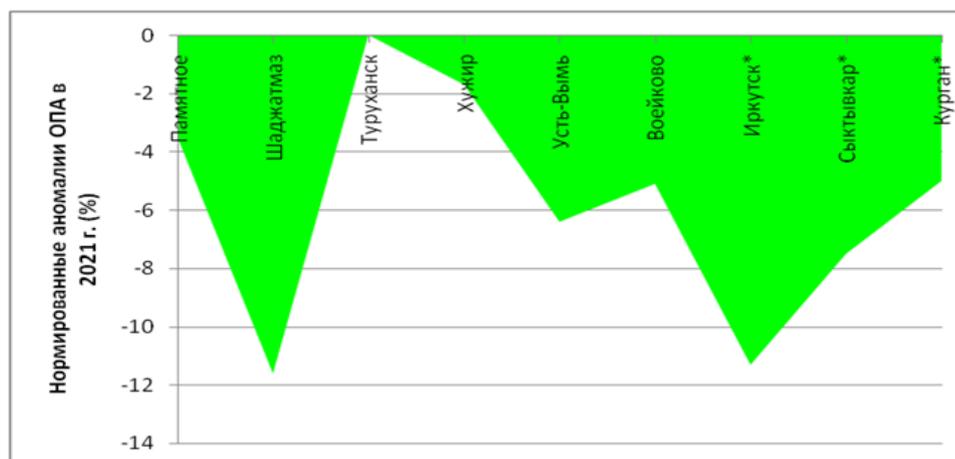


Рис. 1.2.3.1. Нормированные аномалии ОПА (%) в 2021 г. относительно многолетней нормы

На рис. 1.2.3.2 показаны внутригодовые изменения среднемесячных значений ОПА в 2021 г. на парных станциях.

На всех станциях наблюдается увеличение оптического замутнения атмосферы в тёплый сезон года, что обусловлено свободной от снега подстилающей поверхностью и естественным повышением турбулентного обмена.

Как правило, общее замутнение атмосферы в городе превышает таковое на

соответствующих парных фоновых станциях. Однако 2021 г. явился исключением. Во-первых, на паре станций Хужир-Иркутск*, для которой степень городского оптического загрязнения атмосферы всегда превышала таковое на фоновой станции Хужир, расположенной на о-ве Ольхон (оз. Байкал), в 2021 г. среднемесячные значения ОПА в Иркутске* в течение всего года, кроме апреля и ноября, были ниже, чем на станции Хужир. В результате средние значения ОПА за весь наблюдательный период оказались равными.

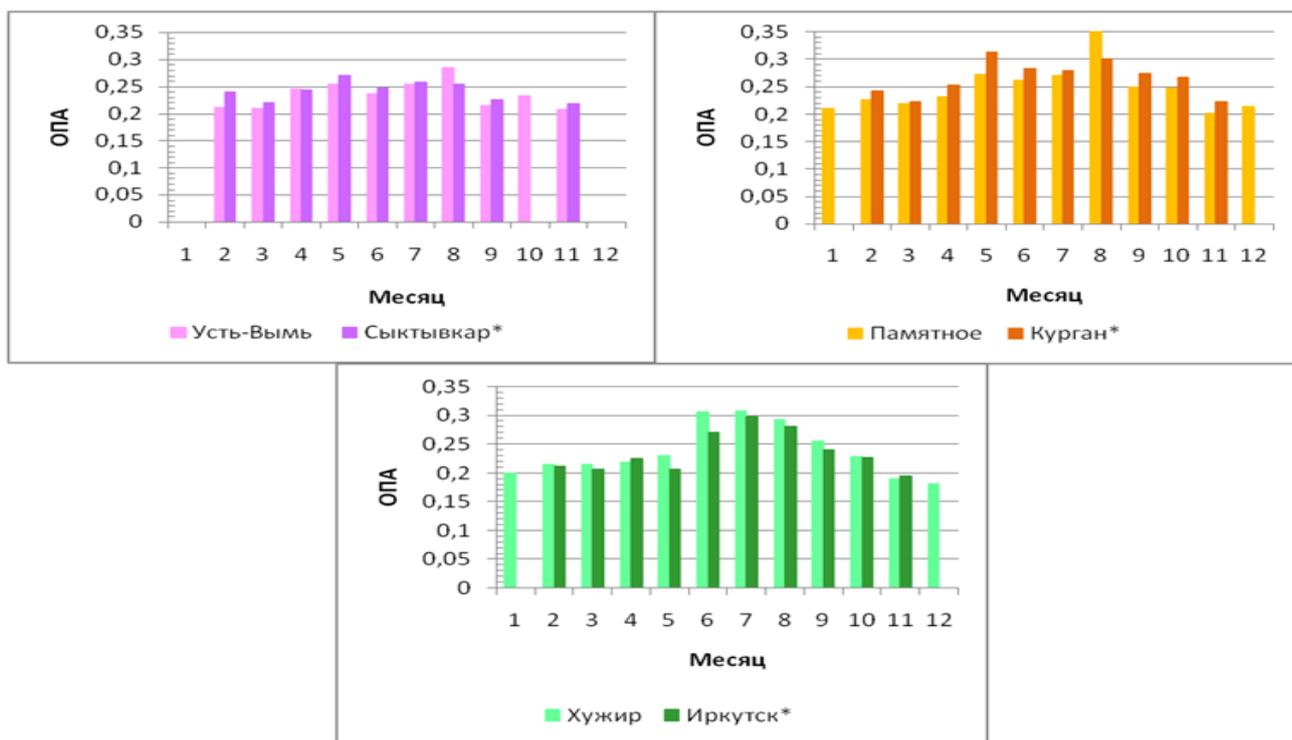


Рис. 1.2.3.2. Годовой ход ОПА на парных фоновых станциях в 2021 г.

Отдельные превышения среднемесячных значений ОПА на фоновых станциях над соответствующими городскими значениями ОПА наблюдались в 2021 г. и на двух других парных станциях. Так на станциях Усть-Вымь и Памятное подобное явление было зафиксировано в августе, но в целом за весь наблюдательный период общее замутнение атмосферы в городах Сыктывкар* и Курган* превосходило степень замутнения на соответствующих фоновых станциях Усть-Вымь и Памятное на 4,2% и 8,1% соответственно.

Межгодовую изменчивость оптической плотности атмосферы можно оценить по изменению нормированных аномалий ОПА (%) на всех фоновых станциях с начала 1970-х годов и по 2021 г. (рис. 1.2.3.3).

Время проведения наблюдений за ОПА можно разделить на три периода:

1 - Время от начала наблюдений и до середины 1990-х гг. можно считать периодом положительных аномалий ОПА, обусловленных 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 40–50%.

2 - Середина 1990-х гг. - происходит самоочищение атмосферы, рост прозрачности и уменьшение оптической плотности атмосферы. Постепенно происходит переход нормированных аномалий ОПА в область отрицательных значений, чему способствовало

сокращение промышленной активности в постперестроечные годы. Так продолжалось до конца 1990-х – начала 2000-ых гг.

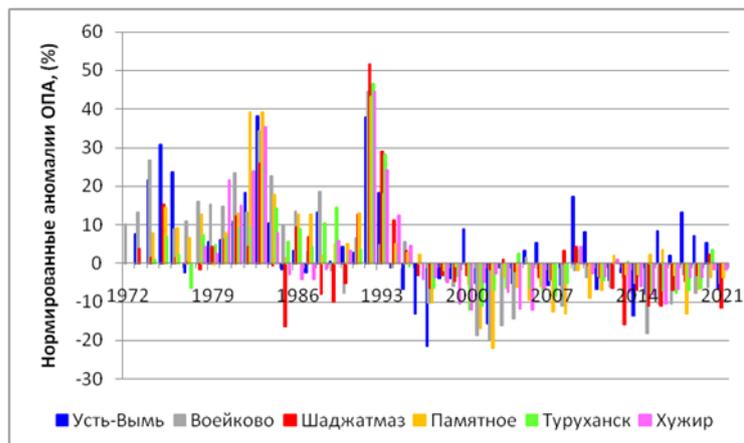


Рис. 1.2.3.3. Нормированные аномалии ОПА (%) на станциях фоновоего мониторинга

3 - Период после 2000-ого и до 2021 г. включительно можно охарактеризовать как период, когда на большинстве фоновых станций оптическое замутнение атмосферы было понижено относительно нормы, а нормированные аномалии ОПА в основном принимали отрицательные значения, достигающие на некоторых станциях в отдельные годы -20% (Памятное, Воейково). В то же время, существенные положительные аномалии за 2000-2021 гг. (в 2009 г. свыше 15%) были зафиксированы лишь на самой северной фоновой станции Усть-Вымь (Республика Коми).

Изменчивость среднегодовых значений оптической плотности атмосферы на отдельных региональных фоновых станциях (исключая городские) характеризует динамику уровня общего замутнения атмосферы в период с 2000 по 2021 гг. (рис. 1.2.3.4).

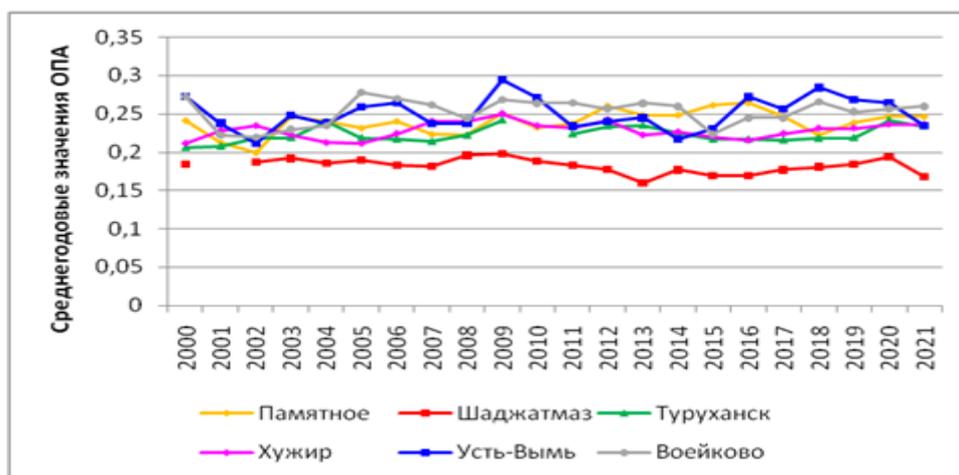


Рис. 1.2.3.4. Изменчивость среднегодовых значений ОПА за 2000-2021 гг.

Из рис. 1.2.3.4 следует, что за первое двадцатилетие XXI века среднегодовые значения ОПА менялись в интервале от 0,2 до 0,3. Лишь на высокогорной станции Шаджатмаз уровень оптического загрязнения был ниже, и среднегодовые значения ОПА варьировали от 0,15 до 0,20. Статистически значимых трендов ОПА за рассматриваемый период зафиксировано не было.

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) (Свердловской области). Общая продолжительность измерений в Воейково составила 72 год, в Иркутске - 62 год, в Верхнем Дуброво - 64 года. Наблюдения в Воейково, Иркутске и Верхнем Дуброво включены в программу комплексного фоновых мониторинга атмосферы с 1980 г.

Обобщенные по сезонам результаты измерений V'_c и LS за 2015–2021 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'_g) и среднемесячные минимальные и максимальные (в скобках) значения V' (даВ/м) за 2015–2021 гг. на станциях Воейково (В) и Иркутск (И)

Станция	Год	$V'_c, (V')$				$V'_g, (V')$
		Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
В	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)
	2018	13 (9, 17)	11 (10, 12)	7 (7, 7)	8 (7, 9)	10 (7, 17)
	2017	12 (10, 14)	13 (11, 15)	11 (8, 12)	10 (10, 10)	11 (8, 15)
	2016	12 (10, 17)	9 (8, 12)	9 (9, 10)	6 (5, 10)	10 (5, 17)
	2015	12 (11, 12)	10 (8, 10)	9 (8, 10)	11 (9, 13)	10 (8, 13)
И	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)
	2018	11(10, 12)	9 (6, 11)	6 (5, 6)	7 (7, 7)	8 (5, 12)
	2017	11 (10, 12)	10 (8, 12)	9 (7, 11)	9 (9, 10)	10 (7, 12)
	2016	9 (8, 10)	9 (8, 10)	7 (6, 9)	9 (9, 10)	9 (6, 10)
	2015	10 (9, 11)	8 (6, 10)	6 (6, 6)	8 (5, 10)	8 (5, 11)

Таблица 1.2.4.2. Сезонные (L_c) и среднегодовые (L_g) значения удельной суммарной электрической проводимости воздуха (фСм/м), минимальные и максимальные среднемесячные значения суммарной электрической проводимости LS (в скобках) за 2015–2021 гг. на станциях Верхнее Дуброво (ВД), Воейково (В), Иркутск (И)

Станция	Год	$L_c, (L_s)$				$L_g, (L_s)$
		Зима	Весна	Лето	Осень	Среднее за год
ВД	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)
	2018	14 (12, 16)	13 (12, 14)	15 (15, 16)	13 (10, 14)	14 (10, 16)
	2017	13 (13, 14)	13 (12, 15)	14 (14, 15)	17 (16, 17)	14 (12, 17)
	2016	19 (Н)	17 (Н)	16 (16, 16)	18 (14, 19)	17 (14, 19)
	2015	17 (17, 17)	16 (15, 17)	17 (16, 18)	17 (14, 19)	17 (14, 19)
В	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)
	2018	16 (16, 18)	18 (14, 20)	20 (19, 22)	19 (18, 19)	18 (14 , 22)
	2017	16 (16, 17)	18 (15, 21)	19 (16, 21)	18 (16, 20)	18 (15, 21)
	2016	14 (11, 18)	17 (15, 19)	16 (14, 18)	18 (17, 20)	16 (11, 20)
	2015	16 (12, 18)	18 (16, 20)	18 (16, 20)	20 (18, 20)	18 (12, 20)
И	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)
	2018	19 (18, 20)	24 (23, 25)	22 (19, 15)	25 (24, 27)	23 (15, 27)
	2017	20 (19, 21)	23 (23, 24)	22 (20, 23)	25 (23, 27)	23 (19, 27)
	2016	15 (13, 17)	20 (19, 22)	18 (17, 21)	19 (19, 21)	18 (13, 22)
	2015	25 (22, 27)	24 (22, 27)	16 (14, 19)	22 (18, 26)	22 (14, 27)

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 «С».

Из представленных в таблице 1.2.4.1 данных наблюдений следует, что в 2021 г. на станции Воейково значения V' значительных изменений не произошло, а на станции Иркутск по сравнению с периодом 2015–2020 гг. значения V' незначительно увеличились.

Как видно из таблицы 1.2.4.2, в 2021 г. по сравнению с 2020 г. на всех станциях значения L_S уменьшились и приблизились к значениям за период 2015–2019 гг.

На рис. 1.2.4.1 представлен годовой ход V' по станциям Воейково и Иркутск в 2021 г. в сравнении с 2020 г. и осредненным годовым ходом V' за период 2015–2019 гг. Как следует из рис. 1.2.4.1 сезонный ход V' за 2021 г. на обеих станциях практически совпадает с осредненным ходом за предыдущие годы.

На рис. 1.2.4.2 показан годовой ход L_S по станциям Воейково, Иркутск, Верхнее Дуброво в 2021 г. в сравнении с 2020 г. и осредненным годовым ходом L_S за период 2015–2019 гг. Как следует из рис. 1.2.4.2 значения L_S за 2021 г. на станциях Воейково, Иркутск и Верхнее Дуброво ниже, чем в 2020 г. за исключением августа и сентября в Воейково.

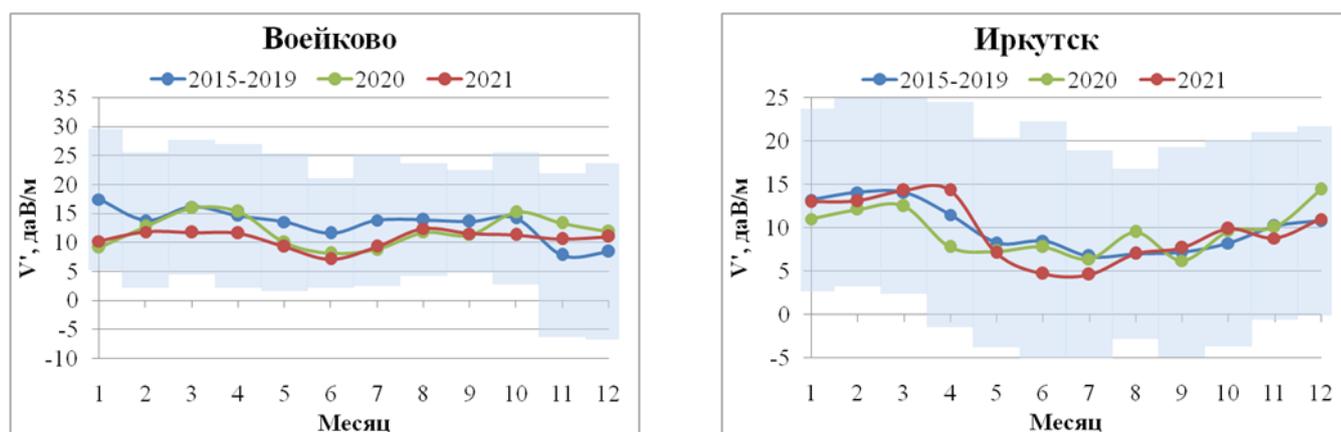


Рис. 1.2.4.1. Годовой ход V' по станциям атмосферно – электрической сети Воейково и Иркутск в 2021 г. в сравнении с 2020 г. на фоне осредненного годового хода V' за период 2015–2019 гг. Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2015–2019 гг.

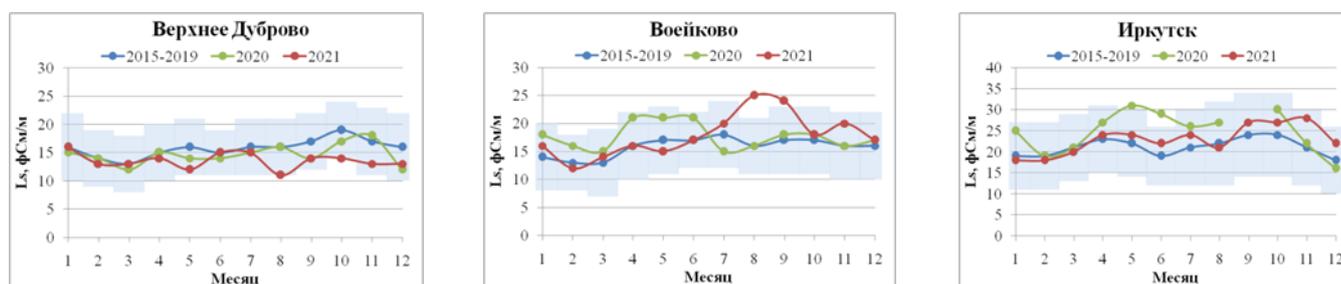


Рис. 1.2.4.2. Годовой ход L_S на станциях Воейково, Иркутск, Верхнее Дуброво и Южно-Сахалинск в 2021 г. в сравнении с 2020 г. и на фоне осредненного годового хода L_S за период 2015–2019 гг. Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2015–2019 гг.

1.3. Химический состав атмосферных осадков

1.3.1. Загрязняющие вещества в атмосферных осадках

Тяжелые металлы

Для оценки характеристик загрязнения атмосферных осадков были использованы ряды данных наблюдений с октября 2020 г. по сентябрь 2021 г. (геофизический год).

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации свинца в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 0,4 мкг/л, на территории Приокско-Террасного БЗ около 3,5 мкг/л, на территории Астраханского БЗ около 0,8 мкг/л, на территории Воронежского БЗ около 0,4 мкг/л, на территории Алтайского БЗ (Яйлю) – около 1,8 мкг/л. Средневзвешенные годовые фоновые концентрации свинца в атмосферных осадках на территориях всех заповедников в рассматриваемый период изменялась незначительно по сравнению с уровнями, зафиксированными в предыдущем году (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

Таблица 1.3.1.1. Уровни содержания загрязняющих веществ в атмосферных осадках фоновых районов по результатам наблюдений СКФМ и среднегодовые концентрации за 2019-2020 гг.

Заповедник	Период наблюдений	Свинец, мкг/л		Кадмий, мкг/л		Ртуть, мкг/л	
		Диапазон	2020-2021 гг.	Диапазон	2020-2021 гг.	Диапазон	2020-2021 гг.
Кавказский БЗ	1982-2021	0,19 - 69,0	0,4	0,010 - 49,0	0,09	0,001 - 22,4	0,48
Приокско-Террасный БЗ	1983-2021	0,2 - 696,0	3,5	0,009 - 20,0	0,24	0,01 - 80,0	0,40
Астраханский БЗ	1987-2021	0,05 - 91,0	0,8			0,02 - 376,0	0,91
Воронежский БЗ	1989-2021	0,18 - 44,2	0,38	0,025 - 19,0	0,06	0,001 - 311,0	0,12
Яйлю	1998-2021	0,25 - 48,0	1,81	0,011 - 12,5	0,17	0,001 - 0,97	0,20

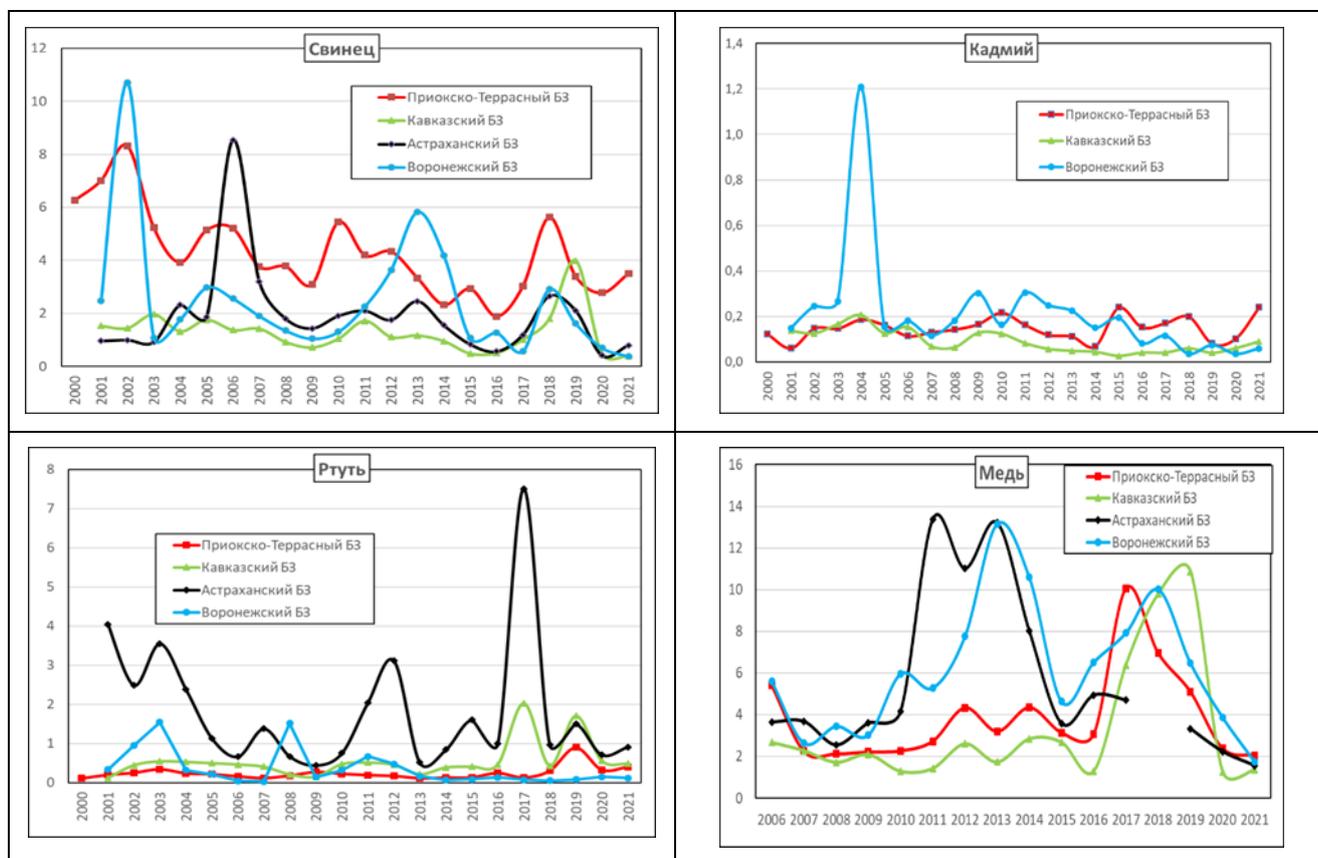


Рис. 1.3.1.1. Изменение среднегодовых концентраций тяжелых металлов в атмосферных осадках (мкг/л) фоновых районов в 2000-2021 гг. (геофизические гг.)

Максимальная среднемесячная концентрация свинца в осадках на территории Кавказского БЗ отмечалась в августе 2020 г. В остальные месяцы концентрация свинца не превышала 1 мкг/л.

В Приокско-Террасном БЗ среднемесячное содержание свинца в атмосферных осадках в большинстве случаев не превышало 2 мкг/л (8 месяцев). Максимальное значение (14,2 мкг/л) было отмечено в июле 2021 г.

Среднемесячные концентрации свинца на территории Астраханского БЗ находились на уровне ниже 1 мкг/л. Только в июне 2021 г. среднемесячная концентрация свинца достигла 3,4 мкг/л.

Среднемесячные концентрации свинца на территории Воронежского БЗ в 2020-2021 гг. были ниже, чем в предыдущие годы наблюдений. Все зафиксированные значения находились на уровне ниже 1 мкг/л. В марте рассматриваемого года содержание свинца было наиболее высоким из представленных и составило 0,73 мкг/л.

Максимальное содержание свинца в осадках на территории Алтайского БЗ было отмечено в феврале 2021 г. (около 6,6 мкг/л), минимальные уровни были зафиксированы в декабре 2020 г. (менее 0,5 мкг/л). Содержание свинца в атмосферных осадках на территории Алтайского заповедника в рассматриваемый период не превышало 3 мкг/л за исключением января, февраля и марта 2021 г.

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации кадмия в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 0,09 мкг/л, на территории Приокско-Террасного БЗ – около 0,24 мкг/л, на территории Воронежского БЗ – около 0,06 мкг/л, на территории Алтайского БЗ (Яйлю) – 0,17 мкг/л.

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации кадмия в атмосферных осадках на территориях заповедников в рассматриваемый период сохранились на низком уровне (табл. 2.21, рис. 2.24).

На территории Кавказского БЗ концентрации кадмия за рассматриваемый геофизический год находились в диапазоне от 0,005 мкг/л (октябрь 2020 г.) до примерно 0,1 мкг/л (июнь 2021 г.).

В Приокско-Террасном БЗ в апреле 2021 г. было зафиксировано повышение содержания кадмия в атмосферных осадках до 0,68 мкг/л. Также значительно повышенное содержание кадмия в атмосферных осадках (выше 0,4 мкг/л) было зафиксировано в октябре и ноябре 2020 г. Минимальное содержание кадмия в атмосферных осадках в рассматриваемый период было зафиксировано в феврале и июне 2021 г.

На территории Воронежского заповедника концентрации кадмия варьировали незначительно и в основном не превышали 0,07 мкг/л. Наименьшее содержание кадмия в атмосферных осадках было зафиксировано в мае 2021 г., а максимальное (0,15 мкг/л) – в ноябре 2020 г.

На территории Алтайского заповедника содержание кадмия в рассматриваемый период повысилось по сравнению с предыдущим годом и в основном (8 месяцев) находилось в диапазоне значений до 0,1 мкг/л. Максимальная концентрация наблюдалась в марте 2021 г. (0,94 мкг/л).

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации ртути в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 0,48 мкг/л, на территории Приокско-Террасного БЗ – около 0,40 мкг/л, на территории Астраханского БЗ - около 0,9 мкг/л, на

территории Воронежского БЗ около 0,12 мкг/л, на территории Алтайского БЗ (Яйлю) – около 0,20 мкг/л.

На территории Кавказского БЗ значительно повышенное содержание ртути в атмосферных осадках было зафиксировано в феврале 2021 г., а также в июне и июле 2021 г. Минимальное содержание ртути в атмосферных осадках было зафиксировано в сентябре 2020 г.

На территории Приокско-Террасного БЗ повышенное содержание ртути в атмосферных осадках было отмечено в мае 2021 г. (1,95 мкг/л). Минимальное значение было зафиксировано в апреле 2021 г.

На территории Астраханского БЗ максимальные концентрации ртути в атмосферных осадках отмечались в январе и мае 2021 г., а минимальные – в апреле 2021 г.

На территории Воронежского БЗ содержание ртути в атмосферных осадках в большинстве месяцев находилось ниже 0,15 мкг/л, за исключением концентраций, зафиксированных в феврале 2021 г (0,66 мкг/л). Минимальная концентрация ртути была зафиксирована в августе 2021 г.

На территории Алтайского заповедника содержание ртути полгода не превышало 0,1 мкг/л. Максимальная концентрация (0,65 мкг/л) наблюдалась в январе 2021 г. Минимальное значение содержания ртути в осадках (0,047 мкг/л) было отмечено в мае 2021 г.

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации меди в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 1,4 мкг/л, на территории Приокско-Террасного БЗ – около 2,0 мкг/л, на территории Астраханского БЗ - около 1,6 мкг/л, на территории Воронежского БЗ - около 1,7 мкг/л, на территории Алтайского БЗ (Яйлю) – около 1,3 мкг/л (рис. 2.24).

На территории Кавказского БЗ содержание меди в атмосферных осадках находилось в основном в диапазоне до 0,5 мкг/л. Повышенные концентрации были зафиксированы в июле 2021 г. (более 8 мкг/л). Минимальные концентрации были зафиксированы в январе и мае 2021 г.

На территории Приокско-Террасного БЗ минимальное содержание меди в атмосферных осадках было зафиксировано в июне 2021 г., а максимальное – в марте 2021 г. (3,4 мкг/л).

На территории Астраханского БЗ содержание меди варьировало от уровня предела обнаружения до 5,8 мкг/л. Максимальное содержание меди в атмосферных осадках было отмечено в июне 2021 г., а минимальные значения (на уровне предела обнаружения) регистрировались в сентябре 2021 г.

В Воронежском БЗ концентрации меди варьировали в диапазоне от 0,88 мкг/л (июль 2021 г.) до 4,3 мкг/л (июнь 2021 г.). При этом, большинство значений находилось в диапазоне до 2 мкг/л.

На территории Алтайского заповедника было зафиксировано значительное повышение содержания меди в атмосферных осадках (до 4,4 мкг/л) в июле 2021 г., а также повышенные значения в феврале-марте 2021 г. (до 3,3 мкг/л). В остальные месяцы рассматриваемого периода содержание меди в атмосферных осадках не превышало 1,5 мкг/л.

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 и Кавказский БЗ; Азиатская часть России (АЧР) – Туруханск, Хужир, Памятная, Тикси и Терней (Сихотэ-Алинский БЗ). Дополнительно были рассмотрены данные по химическому составу осадков (ХСО) станции Приморская. В соответствии с рекомендацией ВМО на большинстве станций отбирались недельные пробы осадков, на станциях Хужир и Тикси – месячные пробы, а на станции Приморская – суточные пробы.

Основные характеристики химического состава осадков (ХСО) фоновых станций в 2021 г., а также за период 2017-2021 гг. представлены в табл. 1.3.2.1 и 1.3.2.2.

В 2021 г. средневзвешенные значения минерализации осадков фоновых станций в целом по Российской Федерации варьировали в пределах 3,4-14,1 мг/л. Маломинерализованные осадки (до 5 мг/л) преимущественно характерны для Приокско-Террасного БЗ, Хужири и Сихотэ-Алинского БЗ. Осадки со средневзвешенной за год минерализацией свыше 10 мг/л характерны для АЧР и наблюдались в Памятном, Туруханске, Тикси и на станции Приморская.

Таблица 1.3.2.1. Средневзвешенные концентрации ионов и величины pH и удельной электропроводности (к) в осадках на станциях фонового мониторинга, 2021 г.

Станция	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	M	pH.	к, мкСм/см
	мг/л											
ЕЧР												
Усть-Вымь	1,37	0,51	0,80	2,03	0,40	0,84	0,27	0,42	0,08	6,7	6,0	14,7
Приокско-Террасный БЗ	0,91	0,41	1,02	0,16	0,28	0,13	0,10	0,31	0,05	3,4	5,3	10,9
Воронежский БЗ	1,91	1,25	1,64	2,13	0,51	0,81	0,46	1,03	0,13	9,9	5,6	22,8
Кавказский БЗ	1,34	0,52	0,77	1,01	0,22	0,27	0,12	0,64	0,08	5,0	5,6	11,8
Шаджатмаз	1,96	0,49	1,25	3,14	0,53	0,30	0,24	1,34	0,20	9,5	6,2	17,9
АЧР												
Памятная	2,82	1,34	2,05	3,67	1,09	0,87	0,65	1,26	0,31	14,1	5,9	29,8
Туруханск	2,24	0,70	0,57	4,09	0,22	0,52	0,27	1,06	0,50	10,2	6,3	21,3
Хужир	0,82	0,32	0,31	1,98	0,23	0,16	0,12	0,26	0,31	4,5	6,1	9,7
Сихотэ-Алинский БЗ (Терней)	1,63	1,07	0,82	0,09	0,37	0,55	0,10	0,33	0,09	5,1	5,4	15,6
Тикси	2,75	3,23	0,48	0,60	0,30	2,18	0,52	0,53	0,32	11,3	5,5	22,9
Приморская (ЕАНЕТ)	2,57	2,38	1,45	0,96	1,10	0,91	0,37	0,70	0,16	10,6	5,9	23,6

В 2021 г. по сравнению с периодом 2017-2021 гг. на ЕЧР, кроме Усть-Выми и Воронежского БЗ, наблюдалось уменьшение минерализации осадков – в среднем на 10%. На АЧР увеличение минерализации осадков произошло в Памятной и Туруханске – на 41 и 26% соответственно. Снижение минерализации произошло в осадках Тикси, Тернея и Хужири – в среднем на 25% (табл. 1.3.2.2).

В ионном балансе атмосферных осадков большинства станций преобладающими примесями являлись: из анионов – гидрокарбонат или сульфат, из катионов – кальций или натрий. Для Приокско-Террасного БЗ характерно преобладание сульфатов и нитратов в осадках. В морском климате (Тикси) соотношение примесей в ионном балансе осадков изменяется вследствие иногда значительного преобладания морской составляющей, способствующей увеличению концентрации хлоридов и натрия.

Таблица 1.3.2.2. Средневзвешенные концентрации ионов и величины рН и удельной электропроводности (к) осадков станций фонового мониторинга, 2017-2021 гг.

Станция	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	М	рН	к, мкСм/см
	мг/л											
ЕЧР												
Усть-Вымь	1,10	0,45	0,84	2,40	0,48	0,47	0,22	0,61	0,06	6,6	5,9	13,7
Приокско-Тerrasный БЗ	0,96	0,46	1,06	0,23	0,28	0,16	0,14	0,34	0,06	3,7	5,3	11,5
Воронежский БЗ	2,08	1,00	1,78	1,21	0,46	0,65	0,48	0,74	0,11	8,5	5,5	21,1
Кавказский БЗ	1,37	0,49	0,85	1,50	0,23	0,24	0,13	0,81	0,09	5,7	5,7	14,9
Шаджатмаз	1,68	0,49	1,46	3,76	0,64	0,24	0,27	1,39	0,17	10,2	6,2	18,1
АЧР												
Памятная	2,24	1,26	1,43	2,09	0,57	0,82	0,54	0,81	0,22	10,0	5,9	24,8
Туруханск	1,67	0,64	0,59	3,08	0,20	0,51	0,28	0,68	0,42	8,1	6,2	16,5
Хужир	1,07	0,37	0,39	2,39	0,19	0,20	0,19	0,37	0,41	5,6	6,2	14,2
Сихотэ-Алинский БЗ (Терней)	1,97	1,19	1,58	0,32	0,37	0,65	0,21	0,64	0,20	7,2	5,6	16,6
Тикси	2,69	5,17	0,50	2,44	0,41	2,60	0,64	0,60	0,34	16,3	5,8	30,5
Приморская (ЕАНЕТ)	3,02	1,47	1,63	1,14	0,85	0,76	0,44	0,81	0,26	10,4	6,1	24,9

Пространственные и временные изменения содержания компонентов, выраженные минерализацией осадков, значительны (рис. 1.3.2.1). Наибольшие колебания минерализации характерны для осадков Тикси вследствие иногда значительного влияния на химический состав морских аэрозолей. Минерализация континентальных станций, расположенных как на ЕЧР, так и на АЧР определялась в основном содержанием или гидрокарбонатов или сульфатов.

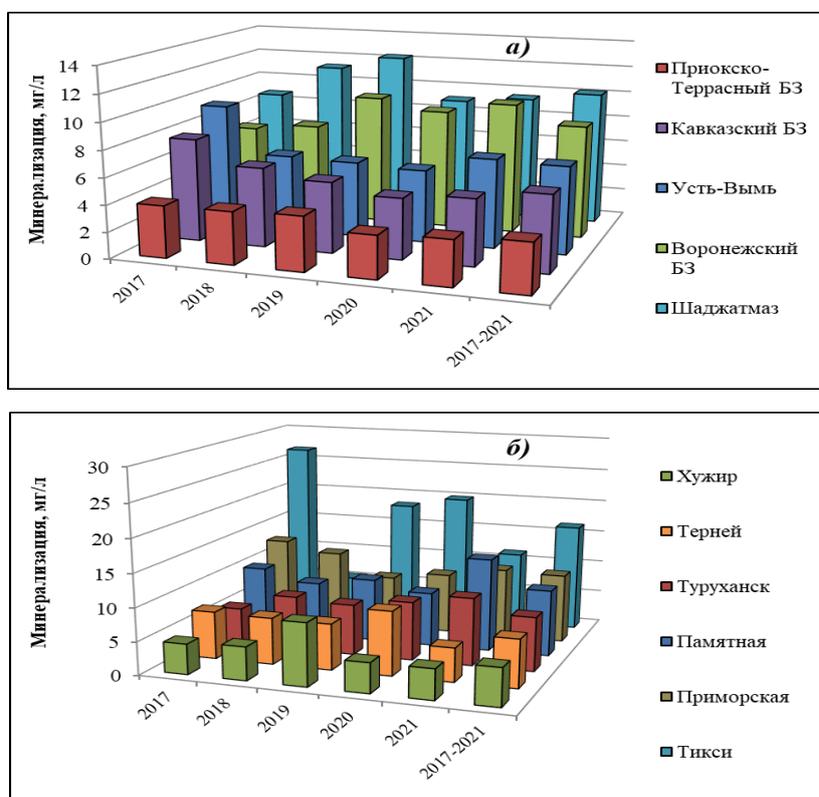


Рис. 1.3.2.1. Изменение средневзвешенной минерализации осадков на ЕЧР (а) и АЧР (б), 2017-2021 гг.

Наибольшие содержания гидрокарбонатов в осадках ЕЧР характерны для ст. Шаджатмаз и Усть-Выми. Диапазон изменения концентрации гидрокарбонатов в осадках ЕЧР в 2021 г. составил от 0,16 (Приокско-Террасный БЗ) до 3,14 мг/л (Шаджатмаз). Следует отметить снижение содержания гидрокарбонатов в осадках Кавказского БЗ, произошедшее в 2019 г., и в осадках Усть-Выми, произошедшее в 2017 г. При этом в период 2019-2021 гг. в Кавказском БЗ и в 2018-2021 гг. в Усть-Выми концентрации гидрокарбонатов оставались примерно на одном уровне и не превышали 1,0 и 2,0 мг/л соответственно.

В целом для всех фоновых станций ЕЧР по сравнению со средним значением за 2017-2021 гг., за исключением Воронежского БЗ, характерно снижение содержания гидрокарбонатов в осадках. В Воронежском БЗ за последние 5 лет наблюдается тенденция увеличения гидрокарбонатов – по сравнению с 2017 г. их содержание в 2021 г. увеличилось в 5 раз и составило 2,13 мг/л (рис. 1.3.2.2а).

На АЧР высокое содержание гидрокарбонатов в атмосферных осадках характерно обычно для Туруханска и Памятной, а диапазон колебания в 2021 г. составил 0,09-4,09 мг/л. Наибольшее снижение концентрации гидрокарбонатов в 2021 г. было характерно для осадков Тернея и Тикси – в среднем на 85% по сравнению с предыдущим годом (рис. 1.3.2.2б).

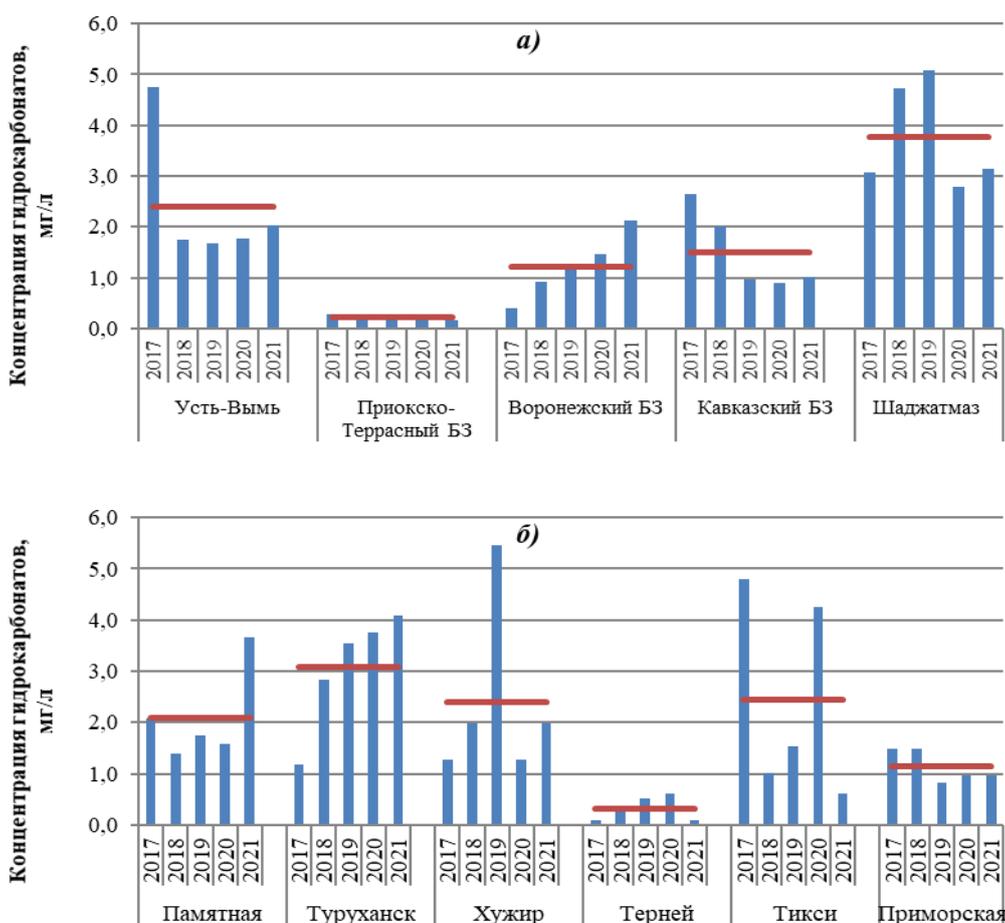


Рис. 1.3.2.2. Изменение концентрации гидрокарбонатов в осадках фоновых станций ЕЧР (а) и АЧР (б), 2017-2021 гг.

* красной линией показано среднее значение за 2017-2021 гг.

За период 2017-2021 гг. тенденция увеличения содержания гидрокарбонатов наблюдалась только в осадках Туруханска. По сравнению с 2017 г. их концентрация в 2021 г. увеличилась практически в 4 раза – с 1,2 до 4,1 мг/л.

Пространственная неоднородность сульфатов проявляется повышенным их содержанием в осадках АЧР по сравнению с осадками ЕЧР. В 2021 г. диапазон концентрации сульфатов в осадках ЕЧР варьировал от 0,91 (Приокско-Тerrasный БЗ) до 1,96 мг/л (Шаджатмаз), составляя в среднем 1,49 мг/л. На АЧР минимальное содержание сульфатов наблюдалось в осадках Хужира (0,82 мг/л), максимальное – в осадках Памятной (2,82 мг/л), а среднее значение составило 2,14 мг/л.

Наиболее существенное увеличение сульфатов в 2021 г. по сравнению с предыдущим годом проявилось в осадках Усть-Выми и Памятной – примерно в 1,5 раза, Туруханске – примерно в 1,3 раза (рис. 1.3.2.3). Увеличение содержания сульфатов по сравнению с 2020 г. в пределах 10-15% отмечено в осадках Кавказского БЗ и Шаджатмаза.

Наибольшие колебания сульфатов наблюдались в осадках Тикси и Приморской. В период 2017-2021 гг. в осадках этих станций средневзвешенные за год концентрации сульфатов могли достигать порядка 4,0 мг/л. В 2021 г. по сравнению с прошлым годом в осадках обеих станций отмечалось снижение сульфатов – примерно на 30% в Тикси и на 15% в Приморской. Снижение концентрации сульфатов на 30% выявлено и в осадках Терней.

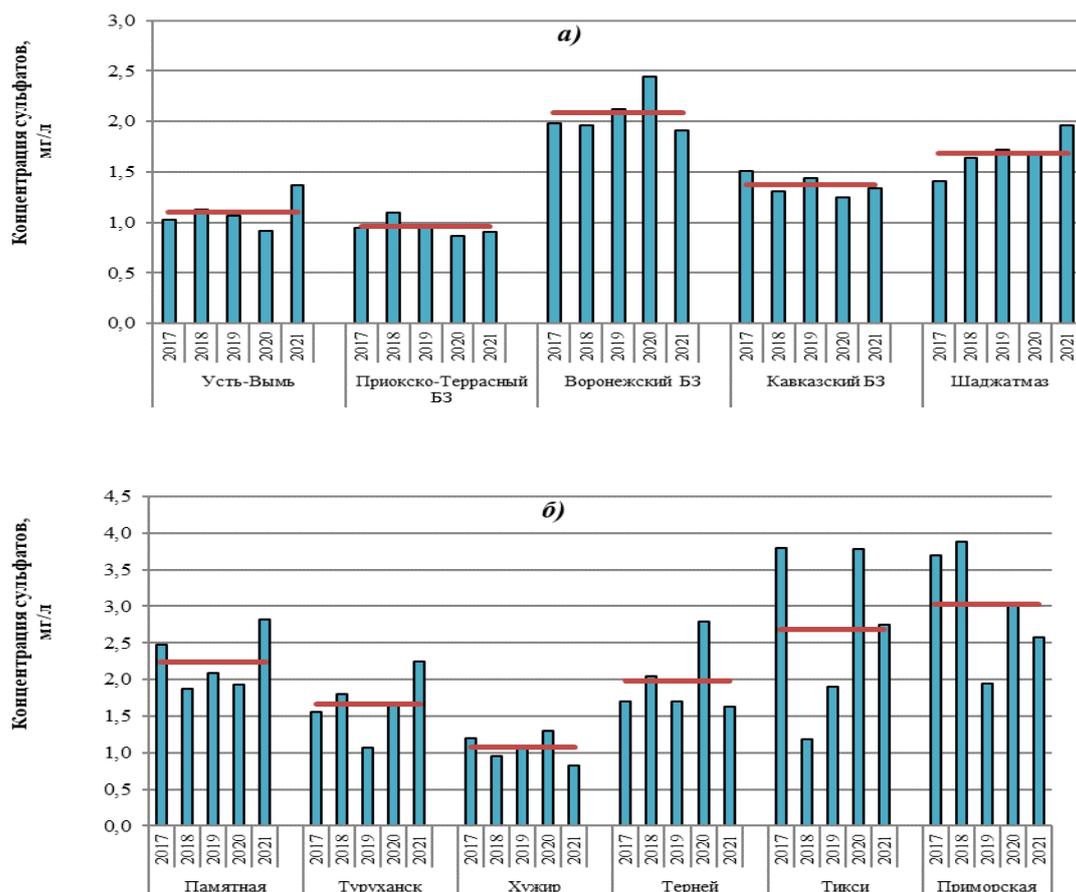


Рис. 1.3.2.3. Изменение концентрации сульфатов в осадках фонтовых станций ЕЧР (а) и АЧР (б), в период с 2017 по 2021 гг.

* красной линией показано среднее значение за 2017-2021 гг.

Пространственная неоднородность хлоридов также проявляется повышенным их содержанием в осадках АЧР по сравнению с осадками ЕЧР. Максимальные концентрации хлоридов и наибольшие временные колебания характерны для прибрежной станций – Тикси. В 2021 г. в осадках Тикси концентрация хлоридов снизилась на 40%, а в осадках Приморской и Воронежского БЗ – увеличилась на 60% и 25% соответственно по сравнению с периодом 2017-2021 гг.

Диапазон изменения нитратов в осадках в 2021 г. составил от 0,8 до 1,6 мг/л на ЕЧР и от 0,3 до 2,1 мг/л на АЧР. Несмотря на более высокие концентрации нитратов в осадках отдельных станций АЧР (Памятная и Приморская), среднее их содержание выше на ЕЧР. В 2021 г. максимальные концентрации нитратов наблюдались в Воронежском БЗ и Шаджатмазе, в Памятной и Приморской. В 2021 г. концентрация нитратов в Тернее снизилась более чем в 2 раза как по сравнению с предыдущим годом, так и со средним значением за 2017-2021 гг. (рис. 1.3.2.4). Наибольшее увеличение концентрации нитратов по сравнению с 2020 г. произошло в осадках Памятной и Усть-Выми – в среднем на 45%.

В целом за 5-летний период наибольшие колебания нитратов в осадках были отмечены в Тернее и Памятной. Практически на всех фоновых станциях, за исключением Памятной, средневзвешенная концентрация нитратов в осадках снизилась в 2021 г. по сравнению со средним значением за 2017-2021 гг.

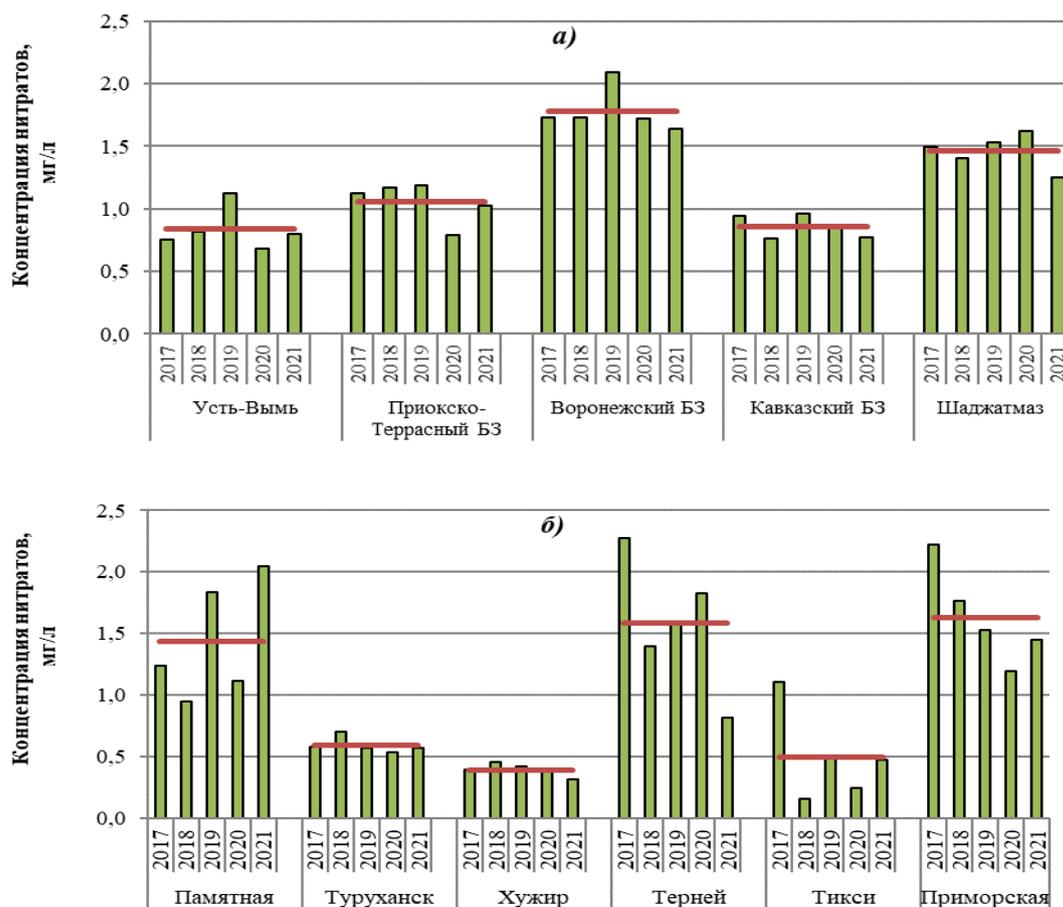


Рис. 1.3.2.4. Изменение концентрации нитратов в осадках фоновых станций ЕЧР (а) и АЧР (б), 2017-2021 гг.

*красной линией показано среднее значение за 2017-2021 гг.

Концентрация аммония в осадках фоновых станций составила в среднем 0,4 мг/л. Следует отметить, что максимальные средневзвешенные значения были чуть выше 0,5 мг/л в осадках ЕЧР и не превышали 1,1 мг/л – в осадках АЧР. Наибольшее увеличение аммония в осадках по сравнению с 2020 г. произошло в Памятной и Приморской – в 2,5-3 раза. Отмечается тренд уменьшения аммония в осадках Усть-Выми, где их содержание снизилось с 0,5 в 2017 г. до 0,4 мг/л в 2021 г. Снижение аммония наблюдалось также и в осадках Тикси и Терней – в среднем в 2 раза по сравнению с 2020 г.

Из катионов в осадках ЕЧР и АЧР, за исключением Тикси, преобладал преимущественно кальций, максимальные концентрации которого характерны для Шаджатмаза. В осадках Тикси содержание натрия выше практически в 2 раза по сравнению с остальными фоновыми станциями.

Пространственные и временные изменения химического состава осадков проявляются изменением рН. Средневзвешенные значения рН осадков фоновых станций, за исключением Приокско-Тerrasного БЗ, были близки или выше равновесного значения (5,6).

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. Влажные выпадения веществ всегда более высокие на станциях с большим количеством осадков. Так, на ЕЧР максимальные суммарные выпадения характерны обычно для Кавказского БЗ и в 2021 г. составили 11,8 т/км² при сумме выпавших за год осадков 2382,1 мм, а на АЧР – для Туруханска (8,9 т/км²-год при сумме выпавших за год осадков 886,9 мм) и Приморской (7,7 т/км²-год при сумме осадков 725,5 мм).

Таблица 1.3.2.3. Выпадение серы, азота и суммы ионов (Р) с осадками, 2021 г.

Станция	q, мм	S(SO ₄)	N(NO ₃)	N(NH ₄)	ΣN	P	N(NH ₄)/ N(NO ₃)	S / Σ N
		т/км ² -год						
ЕЧР								
Усть-Вымь	530,4	0,24	0,10	0,16	0,26	3,53	1,7	0,9
Приокско-Тerrasный БЗ	708,8	0,21	0,16	0,15	0,31	2,38	0,9	0,7
Воронежский БЗ	490,6	0,29	0,17	0,18	0,35	4,56	1,1	0,8
Кавказский БЗ	2382,1	1,06	0,42	0,41	0,83	11,8	1,0	1,3
Шаджатмаз	660,5	0,43	0,19	0,27	0,45	6,06	1,4	1,0
АЧР								
Памятная	256,2	0,22	0,11	0,20	0,31	3,30	1,8	0,7
Туруханск	886,9	0,66	0,11	0,15	0,26	8,94	1,3	2,5
Хужир	272,1	0,07	0,02	0,05	0,07	1,22	2,5	1,1
Приморская	725,5	0,62	0,24	0,61	0,85	7,66	2,6	0,7
Терней	826,9	0,41	0,14	0,22	0,36	3,80	1,6	1,1
Тикси	228,2	0,20	0,02	0,05	0,07	2,37	2,2	2,7

В целом, за последние 5 лет несмотря на изменение минерализации осадков, суммарные выпадения веществ колеблются около одного уровня и, как правило, не превышают 2,5

т/км²·год в Приокско-Террасном БЗ, 4 т/км²·год в Усть-Выми, 5 т/км²·год – в Воронежском БЗ и 8 т/км²·год – в Шаджатмазе.

Наибольший интерес представляют выпадения кислотных компонентов – серы сульфатной ($S(SO_4^{2-})$) и суммарного азота ($\sum N = N(NO_3^-) + N(NH_4^+)$), значения которых за 2021 г. представлены в табл. 1.3.2.3.

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 Азиатской части России с 2000 г. постоянно работают 4 станции: три в регионе оз. Байкал - Иркутск (городская), Листвянка (региональная) и Монды (фоновая); одна в Приморском крае – Приморская (региональная). На протяжении более 20 лет только станции ЕАНЕТ предоставляют результаты регулярного мониторинга содержания загрязняющих веществ в атмосфере на АЧР вне городов.

По данным измерений в 2021 г. среднегодовое содержание газовых примесей в воздухе продолжало возрастать по сравнению с предыдущими годами только на станциях ЕАНЕТ в регионе оз. Байкал. Среднее содержание SO_2 на станции Листвянка значительно превышало уровни, отмечавшиеся на других станциях ЕАНЕТ, возрастая, как и в предыдущие 10 лет, в основном за счет высоких значений зимой. В 2021 г. продолжало наблюдаться снижение концентраций азот- и серосодержащих аэрозолей в целом на всех станциях в регионе оз. Байкал, на станции Монды концентрации нитратов были близки к уровню среднего многолетнего, а в Приморье отмечено значительное уменьшение содержания сульфатов. В химическом составе взвешенных частиц наибольшие вклады за весь период наблюдения на всех станциях ЕАНЕТ были характерны для сульфатов, определяющих 40-60% состава атмосферных аэрозолей по массе, однако в 2020-2021 гг. в Приморском крае содержание азотсодержащих соединений превышало 50% (рис. 1.4.1). В Байкальском регионе продолжали сохраняться более низкие концентрации аэрозольных соединений, при этом за время наблюдений содержание практически всех основных ионов в аэрозолях воздуха значительно уменьшилось.

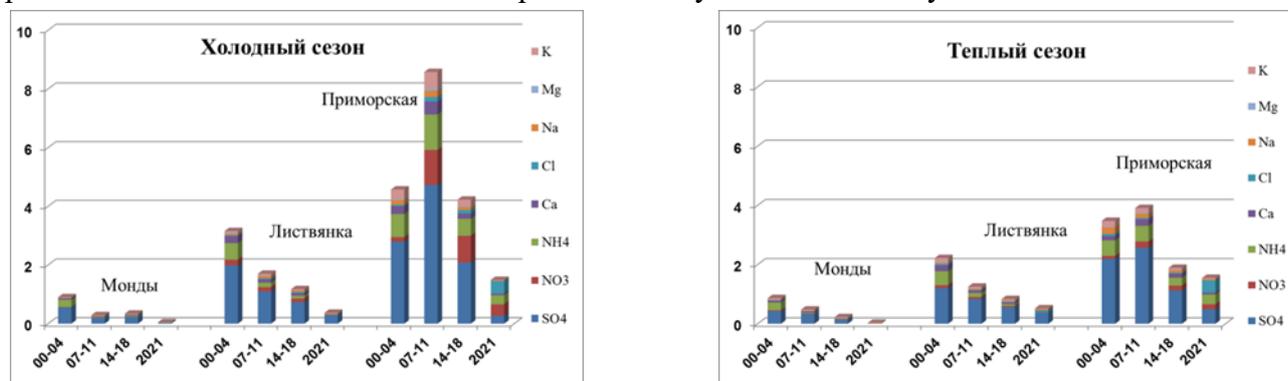


Рис. 1.4.1. Изменение среднего химического состава аэрозолей ($\mu\text{г}/\text{м}^3$) на станциях ЕАНЕТ в холодный (слева) и теплый (справа) периоды по наблюдениям в 2000-2021 гг.

В годовом ходе аэрозолей сульфатов и нитратов на региональных станциях хорошо выражен максимум во второй половине холодного периода. Среднесезонные концентрации большинства веществ, содержащихся в аэрозолях, продолжают снижаться на станциях Монды и Листвянка, и в целом уровень значений сохранялся ниже измерений, как в начале периода наблюдений, так и в 2007-2011 гг. В многолетнем ходе среднегодовых концентраций серо- и азотсодержащих веществ в воздухе также продолжает отмечаться снижение их значений на станциях в регионе оз. Байкал по сравнению с 2015-2017 гг. и в целом за период наблюдений, кроме SO_2 , демонстрирующего рост концентраций второй год подряд после самых низких в

2018-2019 гг. (рис. 1.4.2). В Приморье после относительно повышенного содержания загрязняющих веществ в атмосфере в 2020 г. отмечалось снижение их значений до уровней концентрации 2017-2019 гг., что значительно ниже измеренных в 2013-2015 гг.

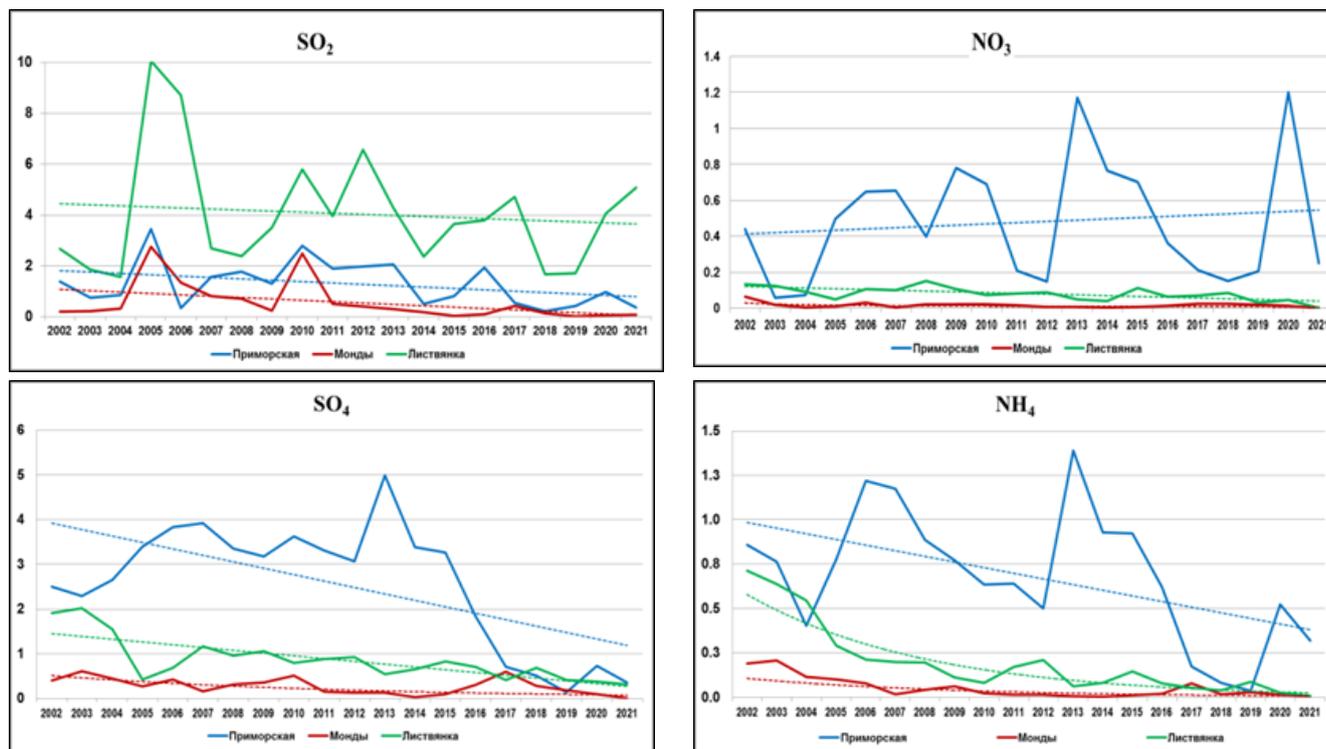


Рис. 1.4.2. Изменения средних годовых концентрации соединений серы (слева) и азота (справа) в воздухе на станциях ЕАНЕТ (мкг/м³)

В зимние месяцы года на Дальнем Востоке наблюдается относительно малое количество осадков, в декабре 2021 г. сумма выпавших осадков составила менее 3 мм/мес, однако такой аномальности (отсутствия осадков), как в начале года 2019 г., не наблюдалось. В весенних осадках наблюдалось более высокое содержание сульфатов, в 2-3 раза выше, чем в среднем в другие месяцы года; концентрации нитратов, кальция и аммония в течение всего года демонстрируют менее выраженный внутригодовой ход с минимумами в летние месяцы. На юге Восточной Сибири также прослеживается годовой ход концентраций практически всех веществ с наибольшими значениями в весенние и осенне-зимние месяцы, кроме аммония, чей максимум отмечен в августе-начале сентября. Сезонные изменения выпадений веществ определяются главным образом годовым ходом осадков, но не только: наибольшие потоки основных анионов отмечены в Приморье в апреле-июне (NO_3^- - 0,06-0,11 г/м² и SO_4^{2-} - 0,16-0,17 г/м²) и в начале осени (0,14 и 0,15 г/м² для NO_3^- и SO_4^{2-} , соответственно) при максимальном количестве выпавших осадков в августе, когда наблюдались значения выпадений, близкие к среднемесячным за 2021 г. (рис. 1.4.3). Для станции ЕАНЕТ Листвянка наблюдалось значительное преобладание летних выпадений практически по всем веществам: более 85% годового потока сульфатов и аммония, более 63% нитратов и кальция за теплый период при выпадении за этот период около 84% годовой суммы осадков. В целом годовые выпадения в 2021 г. для ст. Листвянка и ст. Приморская составили для сульфатов 0,88 г/м² и 1,39 г/м², соответственно, для нитратов 0,36 и 0,83 г/м², аммония 0,16 и 0,61 г/м², что для Байкальского региона выше, чем в 2020 г.

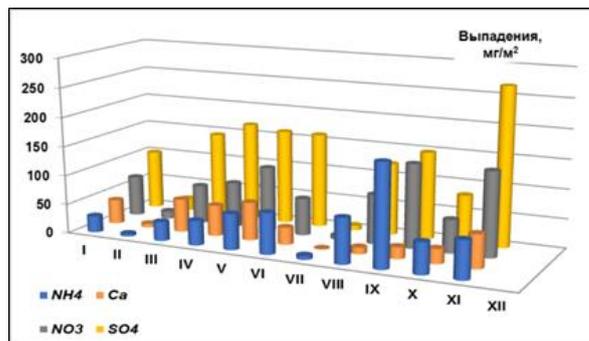
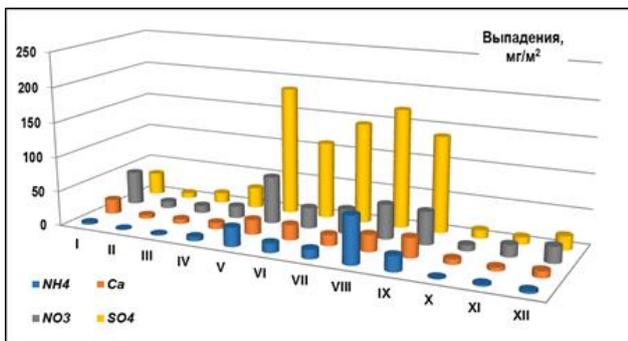
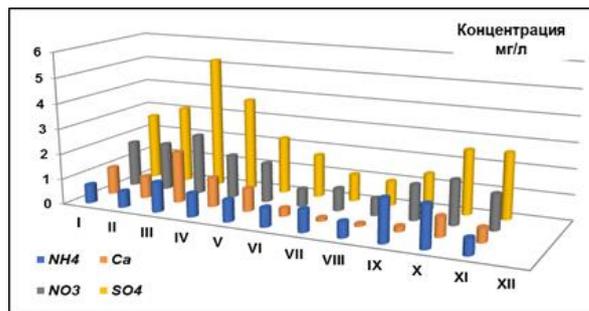
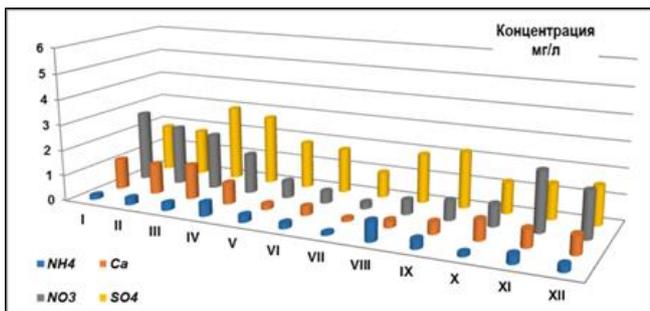


Рис. 1.4.3. Годовой ход концентраций (верхний) и выпадений (нижний) основных кислотообразующих ионов с осадками в регионе озера Байкал (ст. Листвянка, слева) и на Дальнем Востоке (ст. Приморская, справа) в 2021 г.

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

Главную роль в формировании трансграничного загрязнения воздуха и осадков 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 2021 г. проводился на четырех станциях ЕМЕП, расположенных в северо-западном регионе России (Янискоски, Пинега) и в центральной части Европейской России: Данки (юг Московской области) и Лесной заповедник (Тверская область). 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, в большинстве случаев можно отнести к природно-нейтральным ($5 < \text{pH} < 7$). Распределение повторяемости наблюдавшихся значений рН суточных осадков в различных диапазонах характера кислотности (табл. 1.5.1) показывает, что в 2021 г. кислые осадки с $\text{pH} < 4$ практически не наблюдались; на всех станциях повторяемость выпадений атмосферных осадков с рН от 5 до 6 превышала 48-50%.

Таблица 1.5.1. Распределение измеренных значений показателя кислотности (ед. рН) по диапазонам характера закисления атмосферных осадков в районах расположения российских станций ЕМЕП в 2021 г.

Станция (широта, гр. с.ш.)	рН минимальное	рН максимальное	рН среднее	Доля проб в диапазоне рН, %				
				< 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	> 7
Янискоски, 69	4,53	6,84	5,41	0	5	56	39	0
Пинега, 65	4,63	7,69	5,45	0	8	48	37	7
Лесной, 56	4,19	7,01	5,04	0	33	53	13	1
Данки, 55	3,95	7,94	4,94	1	36	50	12	2

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 2021 г. составила 0,25 мгS/л на станции Янискоски, 0,36 мгS/л на станции Пинега, 0,26 мгS/л на станции Лесной заповедник, 0,43 мгS/л на станции Данки (в районе Приокско-Террасного биосферного заповедника). Пространственное распределение содержания нитратов в осадках

практически совпало с распределением, характерным для сульфатов: наименьшее значение среднегодовой концентрации составило 0,06 мг N/л на станции Янискоски (Мурманская обл.); южнее, на территориях более низких широт, вдали от промышленных районов и крупных городов (станции Пинега и Лесной заповедник) содержание нитратов колебалось в пределах 0,12 - 0,15 мгN/л, а на станции Данки возросло до 0,23 мгN/л. Диапазон варьирования концентраций ионов аммония в осадках составил 0,29 - 0,45 мгN/л, что выше, чем в 2020 г., как и для нитратов. Во внутригодовом ходе максимальные концентрации сульфатов в районах станций ЕМЕП наблюдались в весенний и осенний периоды, при превышении значений в холодный период более чем в 3 раза по сравнению с теплым. Наиболее высокая концентрация нитратов и ионов аммония в осадках также наблюдалась в холодный период года, отражая важную роль переноса выбросов антропогенных источников при формировании уровней содержания азотсодержащих соединений в осадках.

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 2021 г.: 0,15-0,29 и 0,17-0,46 г/м² в год для серы и суммарного азота соответственно. Потоки влажных выпадений серы и азота в зимний период были существенно ниже, чем в летний. Доля аммонийного азота составила до 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, 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 незначительными характеристиками линейного тренда. Результаты расчета многолетних выпадений сумм нитратных и аммонийных соединений с осадками представлены на рис. 1.5.2. В целом в 2021 г. отмечено уменьшение выпадений, как серы, так и азота с осадками на всех российских станциях ЕМЕП.

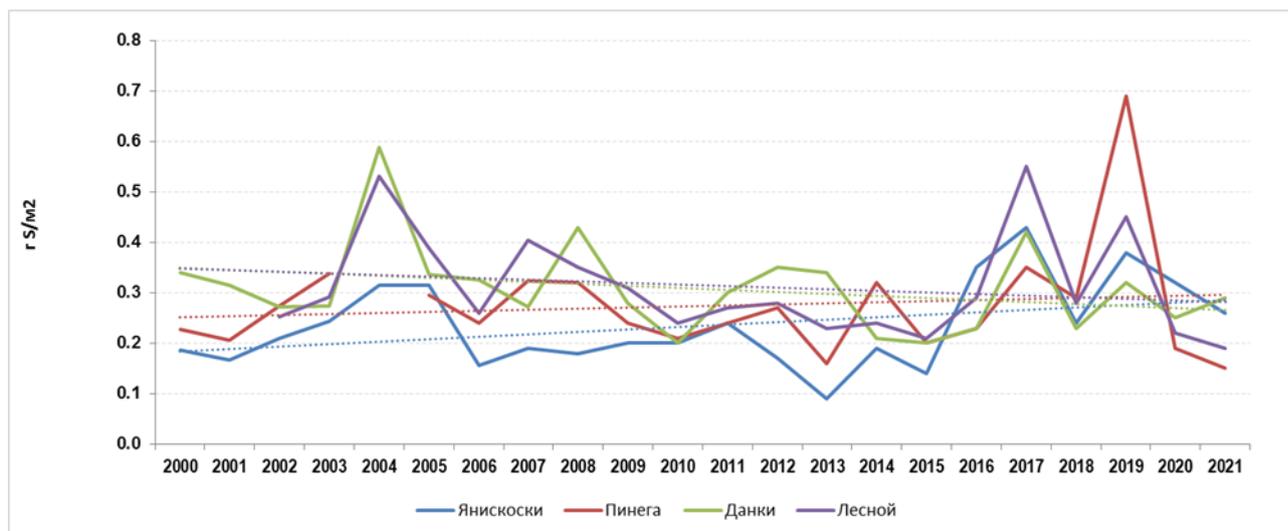


Рис. 1.5.1 . Многолетние выпадения сульфатной серы из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП ($g S/m^2/год$)

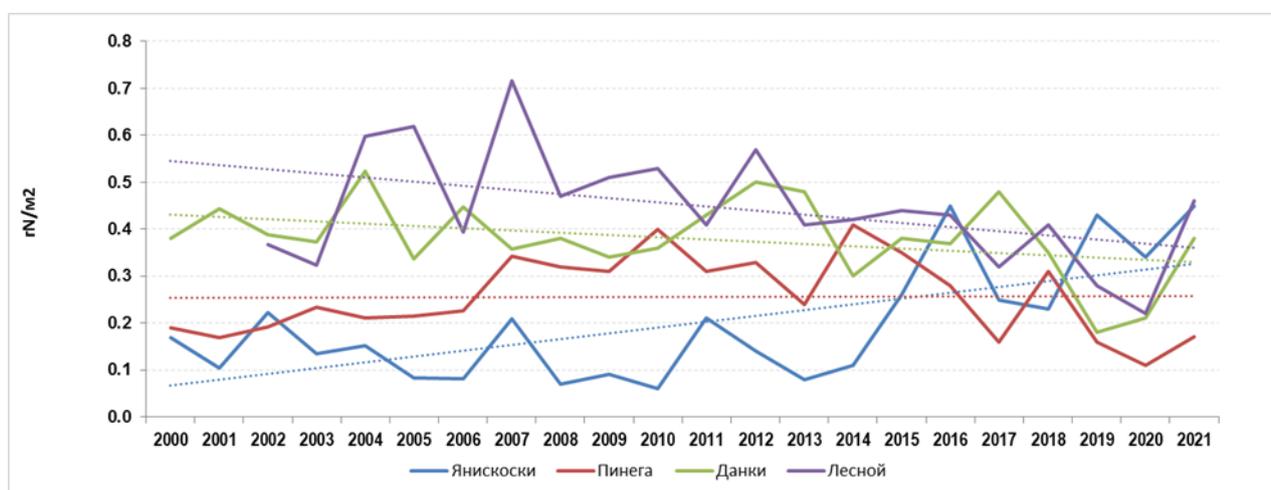


Рис. 1.5.2. Многолетние выпадения суммарного азота (нитратного и аммонийного) из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП ($g N/m^2/год$)

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 при условии, что экосистемы могут выдерживать воздействие количества подкисляющих выпадений без 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 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.

Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2021 г. и значений

критических нагрузок по этим элементам для районов расположения станций, представленных в табл. 1.5.2, позволяют сделать вывод, что выпадения серы остаются существенно ниже уровня критических нагрузок для западных и центральных районов России, но близки или могут превышать (в отдельные годы) границы расчетных значений критерия в северо-западных частях ЕЧР. Для азота на северных станциях ЕМЕП суммарные выпадения также близки к критическим значениям, а в центральных районах приблизились к нижней границе интервала критерия, что является тревожным сигналом с учетом существующих тенденций изменения выпадений азота с осадками к росту год от года.

Таблица 1.5.2. Сравнение суммарных влажных выпадений в 2020 г. и критических нагрузок серы и азота в районах расположения российских станций ЕМЕП

Станция	Влажные выпадения и критические нагрузки для серы, г S/м ² /год		Влажные выпадения и критические нагрузки для азота, г N/м ² /год	
	Выпадения	Нагрузки	Выпадения	Нагрузки
Янискоски	0,26	0,32-0,64	0,45	<0,28
Пинега	0,15	0,32-0,64	0,17	<0,28
Лесной	0,19	1,6-2,4	0,46	0,56-0,98
Данки	0,29	1,6-2,4	0,38	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 2021 г. состояла из 544 снегомерных маршрутов на 523 пунктах наблюдений (ПН), расположенных в 68 субъектах РФ.

По причине отсутствия устойчивого снежного покрова за период зимнего сезона 2020-2021 гг., отбор проб не производился на значительных территориях юга и в некоторых регионах северо-запада Европейской части России (ЕЧР).

В обзоре представлены данные 176 ПН, в которых сумма концентраций основных ионов (сульфатов, нитратов, аммония, хлоридов, калия, натрия, магния, кальция) в зимний период 2020-2021 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.

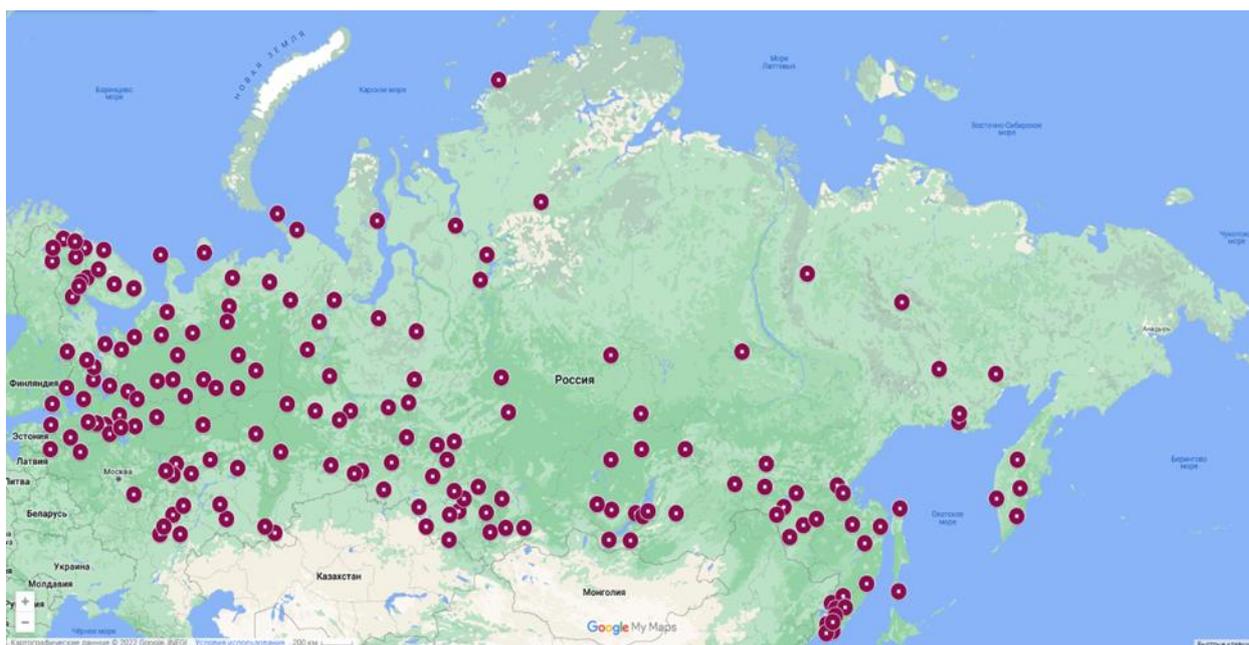


Рис. 1.6.1. ПН с суммой ионов менее 15 мг/л. в зимний период 2019-2020 гг.

ПН, на которых сумма ионов 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 2020-2021 гг. снежный покров либо отсутствовал полностью, либо наблюдался в течении крайне непродолжительного срока, недостаточного для интерпретации данных за весь зимний период. На северных территориях АЧР сеть ПН крайне разрежена. В Камчатском крае и на ближайших к нему территориях, подвергающихся влиянию атмосферных выпадений вследствие вулканической деятельности, сумма концентраций основных ионов стабильно 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 176 ПН распределены по территории 43 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 осреднённое для каждого из субъектов (таблица 1). Показатели интенсивности выпадения азота на снежный покров были рассчитаны для суммы ионов нитрата и аммония.

В зимний период 2020-2021 гг. на большей части территории страны потоки серы с атмосферными осадками составили менее 20 кг/км²·мес. Несмотря на отсев ПН с суммой ионов выше 15 мг/л., повышенная интенсивность выпадения серы на снежный покров была отмечена в Республике Хакасия (42 кг/км²·мес.), в Рязанской (44 кг/км²·мес.), Сахалинской (55 кг/км²·мес.) и Свердловской (59 кг/км²·мес.) областях, в Пермском крае (48 кг/км²·мес.) и в Республике Башкортостан (81 кг/км²·мес.).

В зимний период 2020-2021 гг. на 60 % 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 показывают регионы ЕЧР: Кемеровская область (26 кг/км²·мес.), Вологодская область (26 кг/км²·мес.), и Чувашская Республика (28 кг/км²·мес.).

Карта-схема распределения показателя рН в субъектах РФ дана по полным данным 523 ПН мониторинга ХССП в зимний период 2020-2021 гг. (рисунки 1.6.2).

На более чем 80% территории РФ среднемесячный показатель рН по регионам в зимний период 2020-2021 гг. находился в пределах 5,5 – 6,5 ед.

Из рассматриваемых в обзоре субъектов показатели рН = 5,0 – 5,5 наблюдаются в Ленинградской и Новгородской областях.

Значения рН в диапазоне 5,5 – 6,0 характерны для центральных и северных регионов на ЕЧР и АЧР, в регионах на побережьях Северного Ледовитого и Тихого океанов. Диапазон рН 6,0 – 6,5 наблюдается на континентальных территориях юга РФ практически на всей протяжённости страны, а также в центре ЕЧР.

Из рассматриваемых в обзоре субъектов показатели рН 6,5 – 7,0 на ЕЧР были отмечены в Самарской области, а на АЧР – в Новосибирской, Иркутской областях и в Алтайском крае.

Таблица 1.6.1. Интенсивность выпадения серы и азота в регионах РФ в зимний период 2019-2020 гг.

Субъект РФ	Кол-во ПН	Интенсивность выпадения на снежный покров, кг/км ² -мес.	
		Сера	Общий азот
Алтайский край	3	21	21
Амурская область	7	9	8
Архангельская область	12	10	11
Вологодская область	6	14	26
Забайкальский край	1	1	1
Иркутская область	8	18	10
Камчатский край	5	8	19
Кемеровская область	2	30	26
Кировская область	2	11	15
Красноярский край	10	26	5
Ленинградская область	6	3	2
Магаданская область	4	22	18
Мурманская область	14	9	8
Ненецкий автономный округ	6	4	8
Нижегородская область	3	11	22
Новгородская область	2	9	6
Новосибирская область	4	27	20
Омская область	2	12	15
Оренбургская область	2	16	6
Пензенская область	1	9	7
Пермский край	1	48	12
Приморский край	10	33	16
Псковская область	1	3	0
Республика Алтай	1	21	9
Республика Башкортостан	1	81	22
Республика Бурятия	4	11	5
Республика Карелия	8	12	12
Республика Коми	7	12	11
Республика Саха (Якутия)	4	7	3
Республика Хакасия	2	42	7
Рязанская область	1	44	22
Самарская область	1	32	13
Саратовская область	3	10	10
Сахалинская область	2	55	13
Свердловская область	2	59	13
Томская область	4	20	19
Тюменская область	3	8	10
Удмуртская республика	1	7	14
Ульяновская область	1	9	11
Хабаровский край	5	3	8
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	8	7	13
Чувашская республика	1	23	28
Ямало-Ненецкий автономный округ	5	7	12

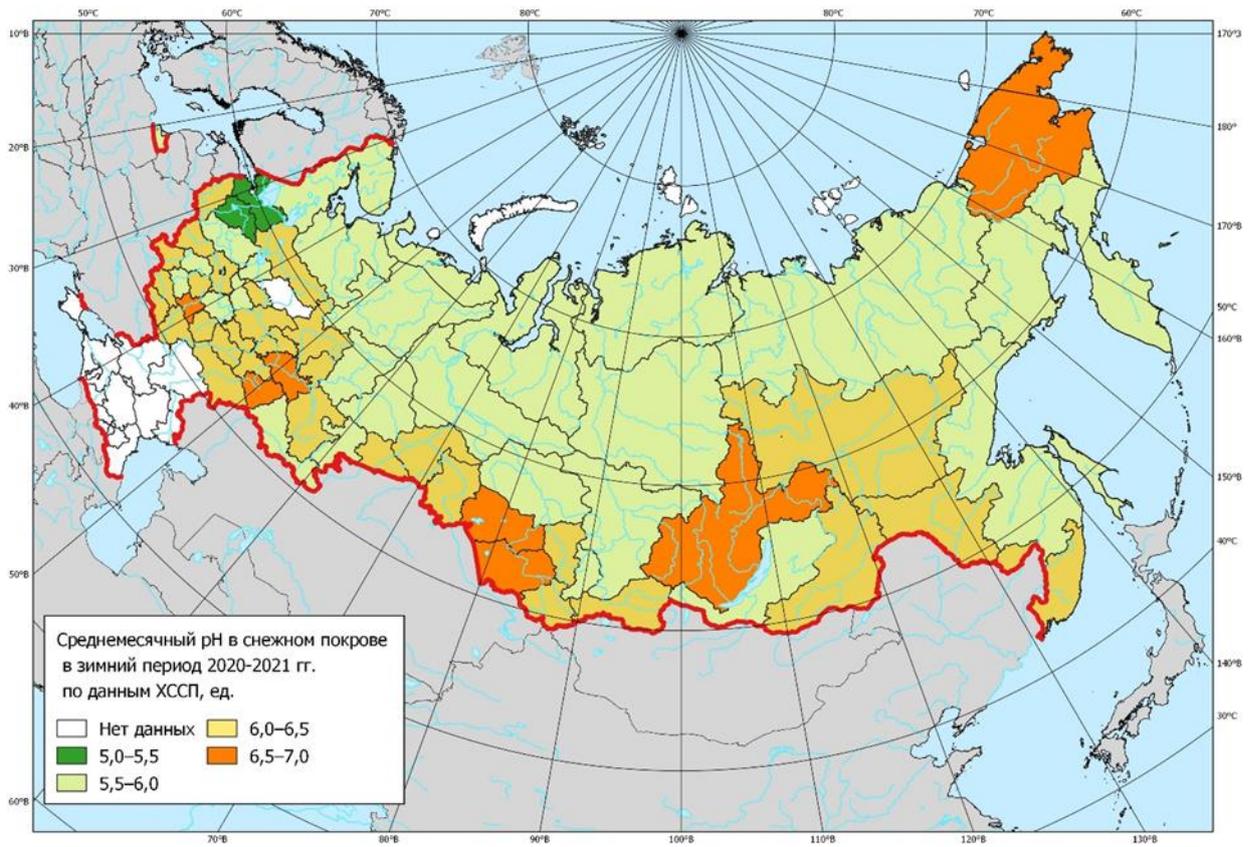


Рис. 1.6.2. рН снежного покрова в 2020 2021 гг.

2. ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

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

Непрерывное функционирование сети станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ) позволяет обеспечивать получение репрезентативных данных о текущих уровнях накопления приоритетных экотоксикантов в наземных экосистемах фоновых территорий России, а на международном уровне сеть СКФМ входит в систему глобального мониторинга окружающей среды «The Global Environment Monitoring System», проводимого под эгидой ЮНЕП. Помимо этого, СКФМ (за исключением Алтайского БЗ (Яйлю)) включены во Всемирную сеть биосферных резерватов (БР) ЮНЕСКО.

Для защиты постоянных пробных площадок станций КФМ от импактных антропогенных воздействий различного рода (бытовая деятельность человека в крупных населенных пунктах, выбросы и сбросы загрязняющих веществ производственными предприятиями, внесение средств химизации в почвы сельскохозяйственных угодий, деятельность горнодобывающих производств и т.п.) их местоположение приурочено к особо охраняемым природным территориям – биосферным заповедникам (БЗ) и национальным паркам (НП) России, которые расположены в основных широтных природных зонах и областях высотной поясности (рис. 2.1.1).



Рис. 2.1.1. Местоположение СКФМ: 1 – НП Смоленское Поозерье, 2 – Приокско-Террасный БЗ, 3 – Воронежский БЗ, 4 – Кавказский БЗ, 5 – Астраханский БЗ, 6 – Волжско-Камский БЗ, 7 – Алтайский БЗ (Яйлю), 8 – Баргузинский БЗ, 9 – Командорский БР

На опорных площадках СКФМ каждые 3-5 лет по ротационной схеме осуществляется отбор образцов почв и доминантных видов растительности древесного, травянисто-кустарничкового и мохового ярусов. Смешанные образцы почв отбираются с учетом требований ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб», ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» и ГОСТ Р 58595-2019 «Почвы. Отбор проб» методом конверта». В травянистых биогеоценозах пробоотбор почв производится с площади 100 м² из верхнего минерального слоя профиля на глубину 10 см, а в

древостоях – с площади 2500 м² из горизонта лесной подстилки и из нижележащих минеральных горизонтов также на глубину 10 см. Средние пробы доминантных видов растительного покрова или смешанные пробы травостоя отбираются с той же площади по фракциям: листва и хвоя деревьев, надземная часть травянисто-кустарничкового покрова, стебли и листья мхов.

Определяемыми показателями фонового загрязнения почв и растительности СКФМ являются 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, по данным Всемирной организацией здравоохранения, Cd, Pb и особо опасные пестициды входят в список 10-ти самых опасных химических веществ, глобальное рассеяние которых пагубно влияет на здоровье человека и экологическое состояние наземных экосистем.

Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах

За последний 5-летний период наблюдений на СКФМ величины содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв в целом были близки к наблюдаемым в предыдущую декаду и ниже, чем среднемировые кларки элементов в континентальной земной коре, установленные А.П.Виноградовым (1962), З.Ху и С.Гао (2008), Н.А.Григорьевым (2009) (табл. 2.1.1), а также другими исследователями. Таким образом, глобальной металлизации поверхностных горизонтов почв фоновых территорий по сравнению с характерным элементным составом горных пород не отмечается. Относительно повышенный средний региональный уровень валового содержания соединений свинца в горных бурых лесных почвах Кавказского БЗ обусловлен геохимической специализацией материнских гранито-гнейсовых пород Альпийско-Гималайского складчатого пояса, обогащенных халькофильными и сидерофильными элементами.

В плане экологического нормирования текущие средние уровни накопления в почвах СКФМ соединений свинца, кадмия и меди в подавляющей массе опробованных почв существенно уступают величинам предельно- и ориентировочно-допустимых концентраций (ПДК и ОДК, соответственно), что характеризует фоновый уровень загрязнения наземных экосистем России как допустимый. Вместе с тем, за последние 5 лет наблюдений в почвах Баргузинского БЗ было зафиксировано спорадическое повышение содержания соединений кадмия до величин, превышающих ОДК для кислых суглинистых почв. В целом, в почвах СКФМ регистрировалось существенное варьирование величин валового содержания тяжелых металлов. Превышения максимальных величин концентраций свинца над минимальными были особенно заметно выражены в почвах Приокско-Террасного БЗ и Воронежского БЗ; кадмия – в почвах Приокско-Террасного БЗ, Воронежского БЗ и Баргузинского БЗ; меди – в почвах НП Смоленское Поозерье, Приокско-Террасного БЗ, Алтайского БЗ (Яйлю) и Баргузинского БЗ. Они могут отражать случаи пробоотбора в условиях увеличения антропогенной нагрузки на наземные экосистемы Центрального федерального округа – промышленно развитого региона с повышенной плотностью населения, а также на компоненты природной среды Сибирского федерального округа, где активно ведется добыча и переработка металлических руд полезных ископаемых.

Межгодное варьирование показателей, безусловно, во многом определяется естественным пространственным варьированием свойств почв на площадках пробоотбора, что требует для установления временных трендов загрязнения почв тяжелыми металлами проведения непрерывных наблюдений.

Содержание в почвах СКФМ стойких органических загрязнителей глобального рассеяния в основном характеризует их экологическое состояние как благополучное. Как правило, в поверхностных горизонтах выявляются лишь следовые количества органических поллютантов, которые существенно меньше установленных значений ПДК. Так, усредненное содержание в почвах СКФМ наиболее значимого химического канцерогена органической природы – бенз(а)пирена – на один-два порядка меньше, чем величина его ПДК. Содержание в почвах СКФМ остаточных количеств персистентного пестицида ДДТ и его метаболитов в

последние годы наблюдений в 3-5 раз ниже ПДК. При определении текущих уровней содержания в почвах СКФМ инсектицида γ -гексахлорциклогексана (γ -ГХЦГ), который был официально запрещен к применению в России в 1990 г., регистрируются значения, которые близки к пределу лабораторного обнаружения и в 50 и более раз ниже установленного ПДК.

Таблица 2.1.1. Средние величины (числитель) и размах (знаменатель) содержания тяжелых металлов и органических загрязнителей в почвах СКФМ за период 2017-2021 гг.

СКФМ	Опробованные почвы	Свинец	Кадмий	Медь	Бенз(а)пи-рен	сумма-ДДТ	γ -ГХЦГ
		мг/кг			мкг/кг		
<i>Центральный федеральный округ</i>							
НП Смоленское Поозерье	Дерново-подзолистые супесчаные	8,8	0,35	11,9	0,2	0,1	0,1
		3,7-10,0	0,12-0,35	2,2-16,0	$\leq 0,1-1,2$	$\leq 0,2-10,0$	$\leq 0,2-0,7$
Приокско-Террасный БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	11,9	0,10	5,9	0,6	4,5	0,3
		1,8-23,8	0,02-0,25	0,7-16,0	0,1-0,9	0,5-70,8	$\leq 0,1-6,0$
Воронежский БЗ	Дерново-подзолистые песчаные	6,5	0,08	1,2	0,9	21,7	10,2
		1,8-20,0	0,01-0,12	0,3-1,8	0,1-18,1	0,5-77,9	$\leq 0,1-10,2$
<i>Южный федеральный округ</i>							
Кавказский БЗ	Горные бурые лесные суглинистые	33,7	0,11	16,3	0,2	18,5	0,7
		27,6-40,2	0,04-0,17	15,1-17,5	0,1-1,4	0,5-41,1	$\leq 0,1-5,6$
Астраханский БЗ	Аллювиальные луговые и лугово-болотные суглинистые	12,6	0,43	14,5	0,1	2,9	1,3
		5,8-26,3	0,36-0,54	11,0-20,8	0,1-0,45	0,3-25,1	$\leq 0,1-13,2$
<i>Приволжский федеральный округ</i>							
Волжско-Камский БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	3,2	0,11	2,6	0,2	35,6	1,0
		2,9-3,8	0,02-0,28	1,1-4,2	0,1-0,3	0,5-71,4	0,1-4,5
<i>Сибирский федеральный округ</i>							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Горно-луговые суглинистые	7,1	0,08	8,5	0,5	4,8	0,25
		5,4-9,2	0,03-0,09	-	0,1-3,7	0,5-52,6	$\leq 0,1-2,2$
Баргузинский БЗ	Горные мерзлотно-таежные суглинистые	4,9	0,23	6,1	0,5	15,5	1,7
		2,4-8,2	0,04-2,8	3,1-12,0	0,3-1,6	0,5-98,6	$\leq 0,1-3,4$
<i>ОДК_{вал}*</i>		32 / 65 / 130	0,5 / 1 / 2	33 / 66 / 132	20	100	100
<i>Кларк почв**</i>		16 / 17 / 17	0,13 / 0,06 / 0,64	47 / 27 / 39	-	-	-

* ОДК_{вал} для тяжелых металлов (в песчаных и супесчаных почвах / кислых (с рН_{ксл}<5,5) суглинистых и глинистых почвах / близких к нейтральным, нейтральным (с рН_{ксл}>5,5) суглинистых и глинистых почвах, соответственно), а также ПДК для органических загрязнителей по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

** Кларки элементов в верхней части континентальной земной коры по: А.П.Виноградову (1962) / Z.Hu and S.Gao (2008) / Н.А.Григорьеву (2009)

За последний 5-летний период наблюдений в дерново-подзолистых почвах Воронежского БЗ отмечалось единичное содержание бенз(а)пирена, повышенное до 0,9 ПДК, однако, согласно последнему сроку опробования почв этой СКФМ концентрация поллютанта была близка к пределу его обнаружения. Повышение в районах размещения СКФМ суммарного содержания ДДТ и его метаболитов, численно превышающее величину 0,5 ПДК, было зарегистрировано в отдельные годы наблюдений в дерново-подзолистых почвах Приокско-Террасного БЗ, Воронежского БЗ и Волжско-Камского БЗ, а также в горных мерзлотно-таежных почвах Баргузинского БЗ. В это же время даже максимально наблюдаемые уровни накопления в почвах СКФМ остаточных количеств γ -ГХЦГ существенно ниже установленных для инсектицида ПДК.

Средние величины фоновых концентраций загрязняющих веществ в почвах СКФМ существенно варьируют в зависимости от географической приуроченности площадки наблюдений, что отражает как природные особенности почв, так и общий уровень антропогенной нагрузки на них (табл. 2.1.2). В целом, в почвах Европейской части России отмечается повышенный \approx в 2 раза средний уровень содержания валовых форм соединений свинца и γ -ГХЦГ, в то время как средние концентрации остальных определяемых загрязняющих веществ в почвах Европейской и Азиатской частей России имеют сравнительно близкие характеристики.

Фоновое содержание загрязняющих веществ в растительности

Растительный покров является первым депонирующим ярусом наземных экосистем, который перехватывает и аккумулирует примеси при их сухом осаждении и мокром выпадении из атмосферы. Кроме того, растения накапливают в своих тканях экотоксиканты, поступающие

в них путем корневого поглощения в ходе процессов минерального питания. Таким образом, общий объем накопления загрязняющих веществ в растительности служит важной характеристикой экологического состояния наземных экосистем фоновых территорий.

Таблица 2.1.2. Характеристики варьирования содержания загрязняющих веществ в почвах СКФМ за период 2017-2021 гг.

СКФМ	Свинец	Кадмий	Медь	Бенз(а)пи-рен	сумма-ДДТ	γ-ГХГЦ
	мг/кг			мкг/кг		
<i>Все СКФМ</i>						
Среднее ± доверительный интервал	10,4 ± 6,1	0,2 ± 0,1	8,6 ± 3,4	0,4 ± 0,2	15,5 ± 9,0	1,9 ± 2,1
Минимум	3,2	0,1	1,2	0,1	0,1	0,1
Максимум	33,7	0,4	16,3	0,9	36,0	10,2
Коэффициент вариации, %	89	69	60	66	88	172
<i>СКФМ Европейской части России</i>						
Среднее ± доверительный интервал	12,8 ± 8,7	0,2 ± 0,1	8,7 ± 5,1	0,4 ± 0,3	13,9 ± 11,0	2,3 ± 3,1
Минимум	3,2	0,1	1,2	0,1	0,1	0,1
Максимум	33,7	0,4	16,3	0,9	35,6	10,2
Коэффициент вариации, %	85	77	73	86	99	173
<i>СКФМ Азиатской части России</i>						
Среднее ± доверительный интервал	5,7 ± 1,4	0,2 ± 0,1	8,3 ± 2,4	0,4 ± 0,1	18,8 ± 17,9	1,0 ± 0,8
Минимум	4,9	0,1	6,1	0,3	4,8	0,3
Максимум	7,1	0,2	10,4	0,5	36,0	1,7
Коэффициент вариации, %	21	47	26	27	84	72

За период наблюдений 2017-2021 гг., включая последний срок опробования, визуальное обследование состояния фитоценозов СКФМ не выявляло видимых признаков нарушений роста и развития растений, которые могли бы отражать интенсификацию загрязнения окружающей среды.

Содержание определяемых тяжелых металлов и органических загрязнителей в зеленых частях основных видов растений древесного, травянистого и мохового ярусов СКФМ находится в более узких пределах колебаний, чем в почвах, что отражает роль почв как буфера миграционных потоков загрязняющих веществ, предотвращающего их переход в сопредельные среды (табл. 2.1.3).

По сравнению с кларковыми значениями содержания тяжелых металлов в растительности суши, оцененными в середине XX века А.П.Виноградовым (1962), в настоящее время отмечается повышение средних уровней содержания свинца, меди и особенно кадмия в растительности СКФМ. Средние концентрации последнего максимальны в хвое сосны и листьях березы СКФМ Воронежского БЗ, а также в листьях ветлы на площадке СКФМ Астраханского БЗ. При этом существенное превышение на всех СКФМ измеренных величин содержания элемента в растениях над его кларком в живом веществе (0,01 мг/кг) может свидетельствовать о тренде расширения техногенного потока кадмия на современном этапе техногенеза.

Характерно, что среди компонентов растительного покрова СКФМ наибольшими концентрациями соединений свинца и кадмия, как правило, отличаются листья и хвоя древостоев, а также растительность мохового яруса. Это может отражать существенную долю аэрогенного источника поступления тяжелых металлов в растительные организмы при сухом осаждении твердых аэрозолей и поступлении элементов в составе атмосферных осадков, а также свидетельствовать об эффективности барьерной функции растительного покрова в процессах поглощения атмосферных примесей.

Максимальные повышения содержания соединений свинца наблюдаются в стеблях и листьях мхов Волжско-Камского БЗ и Воронежского БЗ (37,0 и 10,3 мг/кг, соответственно), кадмия (29,7 мг/кг) – в листьях ветлы (ива белая, *Salix alba*) Астраханского БЗ, меди (24,6 мг/кг) – в разнотравье Кавказского БЗ.

Загрязняющие вещества органической природы, в отличие от тяжелых металлов, накапливаются в растительности СКФМ в незначительных количествах. Лишь повышенные остаточные концентрации ДДТ и его метаболитов в растительности площадок СКФМ

древесного и травянистого ярусов Астраханского БЗ, а также моховом ярусе Волжско-Камского БЗ могут свидетельствовать о длительности эффектов применения этого препарата в Южном и Приволжском Федеральных округах даже спустя 40-50 лет после запрета на его применение. Помимо этого, спорадическое повышение остаточных количеств ДДТ и его метаболитов в растительности фоновых территорий может определяться спецификой биоклиматических особенностей вегетации в годы наблюдений, а также пространственной неоднородностью распределения в наземных экосистемах поллютантов, поступающих из атмосферы. Другие загрязнители органической природы, такие как бенз(а)пирен и γ -ГХГЦ, выявляются в растительности всех СКФМ лишь в незначительных количествах.

Таблица 2.1.3. Средние величины содержания тяжелых металлов и органических загрязнителей в растительности СКФМ в период 2017-2021 гг. (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>							
НП Смоленское Поозерье	Осина, листья	1,2	0,90	5,3	0,03	1,1	≤0,05
	Липа, листья	3,4	0,39	9,2	0,03	-	-
	Черника, листья	0,3	0,22	8,0	0,13	11,0	1,0
	Мох	4,0	0,90	4,3	0,14	7,1	1,7
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
Астраханский БЗ	Ясень, листья	1,0	3,10	3,2	0,20	118,3	0,7
	Ветла, листья	0,6	29,70	5,6	0,18	4,4	0,5
	Тростник	0,6	0,92	4,1	0,37	18,0	нпо
	Ежевика	0,7	3,50	5,5	0,19	28,2	нпо
<i>Приволжский федеральный округ</i>							
Волжско-Камский БЗ	Сосна, хвоя	2,5	0,40	4,2	0,25	12,0	4,0
	Клен, листья	1,9	1,80	3,8			
	Рябина, листья	1,2	1,80	7,0			
	Черника, листья	0,8	1,40	5,2			
	Разнотравье	3,0	1,50	3,5			
	Мох	37,0	0,80	5,0			
				0,07	3,0	2,0	
				0,10	122,0	2,5	
<i>Сибирский федеральный округ</i>							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Разнотравье	0,8	1,50	4,0			
Баргузинский БЗ	Листва деревьев	0,5	0,60	2,3	0,25	3,4	1,5
	Кедр, хвоя	0,7	0,30	1,9	0,35	13,0	3,4
	Разнотравье	0,7	0,15	1,9			
	Мох	2,2	0,60	2,7	0,33	-	-
Кларк растений		0,1	0,01	2	-	-	-

* - нет данных

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

Колебания в растительности СКФМ концентраций органических загрязняющих веществ в наименьшей степени выражены для аэрогенно поступающего в наземные экосистемы бенз(а)пирена, в наибольшей – для хлорсодержащих органических инсектицидов групп ДДТ и ГХГЦ, накопление которых в компонентах растительного покрова СКФМ имеет остаточный характер и характеризуется большой пространственной неоднородностью.

Наиболее высокие средние уровни содержания бенз(а)пирена (0,5-0,6 мкг/кг) наблюдаются в разнотравье напочвенного покрова Приокско-Террасного и Кавказского БЗ; остаточных количеств ДДТ и его метаболитов (122 мкг/кг) – в растительности мохового яруса Волжско-Камского БЗ; а остаточных количеств γ -ГХГЦ (4,0 мкг/кг) – в хвое сосны Волжско-Камского БЗ.

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 ежегодно 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 2021 г. наблюдения за содержанием в почвах фоновых участков ТМ, НП, фтора, нитратов, сульфатов, БП 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, Республики Татарстан, Удмуртской Республики, Чувашской Республики, Нижегородской, Оренбургской и Самарской областей).

В табл. 2.2.1 представлены значения массовых долей нитратов, сульфатов и водорастворимого фтора в почвах фоновых площадок на территориях Новосибирской, Кемеровской, Томской, Самарской и Свердловской областей, а также Приморского края.

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

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Нитраты	Сульфаты	Фтор
Сибирский федеральный округ					
Западная Сибирь, Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995-2021	<u>2,0-36,5</u> 5,2	–	<u>0,2-4,1</u> 2,8
Кемерово, д. Калинкино ЮЮЗ 55 км от ГРЭС	Выщелоченный чернозём	1995-2021	<u>0,41-87,5</u> 0,41	–	<u>0,4-3,5</u> 1,0
г. Новокузнецк, пос. Сарбала ЮЮВ 32 км от ГРЭС	Подзолистые	1995-2021	<u>3,8-24,6</u> 3,8	–	<u>0,2-9,5</u> 1,1
г. Томск, с. Ярское Ю 43 км от ГРЭС-2		2001-2021	<u>1,5-156,7</u> 30,9	–	<u>0,3-3,8</u> 2,5
Иркутская область г. Черемхово	Дерново-карбонатные, серые лесные	2001, 2007, 2014, 2021	–	<u>12-629,6</u> 629,6	<u>1,8-4,4</u> 4,4
г. Свирск	Серые лесные	2001, 2007, 2014, 2021	–	<u>4-375,4</u> 375,4	<u>2,1-4,0</u> 4,0
Дальневосточный федеральный округ					
Приморский край г. Артем	Бурые лесные	2001, 2008, 2021	–	<u>8,7-13,5</u> 8,7	–
г. Большой Камень	Бурые лесные	2002, 2011, 2021	–	<u>15-63</u> 45,1	–
Приволжский федеральный округ					
Самарская область, Волжский район НПП «Самарская Лука» З 100 км от г. Самара	Чернозёмы	2006-2021	<u>1-47</u> 4,3	<u>24-216</u> 91,2	<u>0,2-3,3</u> 0,3
Волжский район, АГМС п. Аглос ЮЗ 20 км от г. Самара		2006-2021	<u>0,7-36</u> 2,5	<u>16-149</u> 44,9	<u>0,8-4,1</u> 0,8
Уральский федеральный округ					
Свердловская область, п. Мариинск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Подзолистые	1999-2021	<u>0,2-13,2</u> <2,8	–	–

Примечание: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2021 г.

Данные, представленные в табл. 2.2.1, демонстрируют значительные колебания содержания в почвах нитратов, сульфатов и фтора за рассматриваемый период. Следует отметить, что в 2021 г. на территории фоновой площадки с. Ярское Томской области содержание нитратов в почве (30,9 мг/кг) снизилось в 5 раз по сравнению с предыдущим годом наблюдений (156,7 мг/кг). В целом, несмотря на варьирование содержания вышеуказанных химических веществ, превышение допустимых гигиеническими нормативами значений выявляется в единичных случаях.

В 2021 г. продолжились наблюдения за выпадениями фтора на снежный покров Братского района Иркутской области. Плотность выпадений соединений фтора на фоновой площадке в районе г. Братска за пятилетний период 2017–2021 гг. изменялась в диапазоне 1,2–11,1 кг/км² мес. В 2021 г. плотность выпадений водорастворимых соединений фтора на территории фоновой площадки (2,9 кг/км² мес.) в зимний период (2020–2021 гг.) снизилась в 3,8 раза по сравнению с 2020 г. (11,1 кг/км² мес.). По данным наблюдений 2017–2021 гг. плотность среднегодовых атмосферных выпадений фторидов на фоновой площадке п. Листвянка Иркутской области варьировала в диапазоне 0,46–2,41 кг/км² мес.

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
Центральный федеральный округ						
Московская область Щелковский район*	Дерново-подзолистые	2021	2,1	139,6	10,8	–
Сибирский федеральный округ						
Иркутская область г. Черемхово	Дерново-карбонатные, серые лесные	2001, 2007, 2014, 2021	$\frac{7-156,5}{156,5}$	$\frac{54,9-550}{54,9}$	$\frac{17-46}{38,6}$	$\frac{0,03-0,06}{0,03}$
г. Свирск	Серые лесные	2001, 2007, 2014, 2021	$\frac{11-53,4}{53,4}$	$\frac{194-1168}{194}$	$\frac{11,3-55}{11,3}$	$\frac{0,05-0,1}{0,05}$
Дальневосточный федеральный округ						
Приморский край г. Артем	Бурые лесные	1985, 2001, 2008, 2021	$\frac{12-16}{-}$	$\frac{800-967}{967}$	$\frac{7,7-14}{7,7}$	0,09*
г. Большой Камень	Бурые лесные	1989, 1994, 2002, 2011, 2021	$\frac{10-18}{-}$	$\frac{655-860}{721}$	$\frac{9,2-14}{9,2}$	$\frac{0,04-0,07}{0,04}$
Уральский федеральный округ						
Свердловская область п. Маринск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	1999–2020	$\frac{4-44}{18,3}$	$\frac{77-3110}{1011}$	$\frac{1,5-53}{34,5}$	$\frac{0,01-0,20}{0,05}$
г. Нижний Тагил С 146 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2006, 2011, 2016, 2021	$\frac{14-29}{16}$	$\frac{494-1511}{835}$	$\frac{16-102}{45}$	$\frac{0,02-0,2}{0,02}$
Приволжский федеральный округ						
Нижегородская область г. Дзержинск территория городского округа г. Дзержинска	Дерново-подзолистые	2013, 2018–2021	$\frac{1-8}{<6}$	$\frac{63-278}{248}$	$\frac{8-24}{<14}$	$\frac{0,02-0,06}{<0,06}$
Самарская область НПП «Самарская Лука» 3 100 км от г. Самара	Черноземы	2006–2021	–	$\frac{43-515}{208,4}$	$\frac{11-87}{32,5}$	–
АГМС п. Аглос ЮЗ 20 км от г. Самара			–	$\frac{175-778}{273,4}$	$\frac{9-103}{27,2}$	–
Удмуртская Республика В 20 км от г. Глазов	Дерново-подзолистые	2003, 2004, 2006, 2021	$\frac{10-16}{16}$	$\frac{297-1530}{297}$	$\frac{8-64}{8}$	–
Республика Татарстан г. Казань СЗ 20 км	Дерново-подзолистые	2008–2021	2–8	$\frac{250-613}{613}$	$\frac{2-36}{2,4}$	$\frac{0,01-0,04}{0,03}$
г. Нижнекамск г. Набережные Челны СВ, Национальный парк «Нижняя Кама»			3–9	$\frac{223-549}{549}$	$\frac{12-51}{51}$	$\frac{0,01-0,04}{0,04}$

Примечания: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2021 г.;

* – данные наблюдений только за 2021 г.

– – не определяли

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.

Данные наблюдений показывают, что средние концентрации кобальта, марганца, никеля и ртути в почвах фоновых площадок не превышали допустимых значений, за исключением единичных случаев.

Массовые доли кислоторастворимых форм кадмия, меди, свинца, цинка и НП в почвах фоновых площадок на территориях отдельных регионов Российской Федерации представлены в табл. 2.2.3. Данные многолетних наблюдений демонстрируют, что, несмотря на варьирование содержания токсикантов промышленного происхождения в почвах фоновых площадок за весь период наблюдения, превышение допустимых гигиеническими нормативами значений выявляется редко.

Результаты обследований, проведенных с 1999 по 2021 гг. в районе п. Мариинск Свердловской области, показали, что в подзолистых почвах фоновые массовые доли подвижных форм хрома изменяются от 0,5 до 1,9 мг/кг (кислоторастворимых форм хрома - от 19 до 117 мг/кг), свинца - от 1,2 до 19 мг/кг, марганца - от 30 до 485 мг/кг, никеля - от 0,2 до 5,0 мг/кг, цинка - от 1,6 до 137 мг/кг, меди - от 0,5 до 25 мг/кг, кобальта - от < 0,01 до 2,5 мг/кг, кадмия - от < 0,01 до 1,1 мг/кг.

В районе г. Нижний Тагил Свердловской области (на расстоянии 136 км в южном направлении от г. Екатеринбурга) за период 2006-2021 гг. содержание подвижных форм свинца в подзолистых почвах изменялось в диапазоне 0,8-7,1 мг/кг, хрома - от 0,4 до 0,7 мг/кг, марганца - от 40 до 215 мг/кг, никеля - от 0,01 до 4,5 мг/кг, цинка - от 1,6 до 37 мг/кг, меди - от 1,0 до 5,2 мг/кг, кобальта - от 0,01 до 1,3 мг/кг, кадмия - от 0,01 до 0,5 мг/кг. На территории Приморского края в 2021 г. содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве определялось на фоновых площадках вблизи городов Артем и Большой Камень. В почве фонового участка в районе г. Артем концентрация кадмия составила 0,12 мг/кг, свинца - 1,65 мг/кг, никеля - <0,5 мг/кг, цинка - 3,2 мг/кг, марганца - 88 мг/кг, меди - 0,06 мг/кг. В почве фоновой площадки г. Большой Камень содержание свинца выявлено на уровне 2,8 мг/кг, меди - 0,3 мг/кг, кадмия - <0,05 мг/кг, никеля - 0,23 мг/кг, цинка - 2,8 мг/кг, марганца - 78,2 мг/кг. В г.о.г. Дзержинск Нижегородской области значения массовых долей подвижных форм ТМ в почвах фонового участка следующие: меди - 0,8 мг/кг, никеля - < 2,5 мг/кг, свинца - <1,1 мг/кг, цинка - < 2,4 мг/кг, кадмия - < 0,2 мг/кг, кобальта - <0,2 мг/кг. Почвы фоновой площадки в районе г. Глазов Удмуртской Республики содержали меди 0,1 мг/кг, никеля - < 1,0 мг/кг, свинца - < 0,4 мг/кг, цинка - <1,2 мг/кг, кадмия □ 0,1 мг/кг, кобальта □ <0,1 мг/кг.

В 2021 г. фоновое содержание нефтепродуктов для г. Омска установлено 154,8 мг/кг.

Концентрации БП в 2021 г. определялись в почвах фоновых участков городов Артем и Большой Камень Приморского края. Фоновые значения содержания БП в почве вышеуказанных населенных пунктов не превышали 0,005 мг/кг.

В большинстве регионов значения 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 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.

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
Центральный федеральный округ							
Московская область Щелковский район*	Дерново-подзолистые	2021	1,0	11,6	9,0	38,0	–
Сибирский федеральный округ							
Западная Сибирь г. Кемерово д. Калинкино ЮЮЗ 55 км от ГРЭС	Выщелоченный чернозём	1995-2021	$\frac{<0,1-6,3}{0,33}$	$\frac{4-41}{19,4}$	$\frac{5-31}{15,2}$	$\frac{18-169}{79,7}$	$\frac{6-110}{57,3}$
г. Новокузнецк пос. Сарбала ЮЮВ 32 км от ГРЭС	Подзолистые	1995-2021	$\frac{<0,1-1,3}{0,32}$	$\frac{3,0-27}{18,8}$	$\frac{7,0-25}{14,7}$	$\frac{11-133}{50,3}$	$\frac{36-510}{51,8}$
г. Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995-2021	$\frac{<0,1-3,0}{0,48}$	$\frac{3-30}{18,6}$	$\frac{1,6-40}{21,2}$	$\frac{5-129}{72,5}$	$\frac{9-264}{193}$
г. Томск, с. Ярское Ю 43 км от ГРЭС-2	Подзолистые	2001-2021	$\frac{<0,1-0,9}{0,48}$	$\frac{2-21,3}{17,2}$	$\frac{4,1-27}{15,2}$	$\frac{22-200}{82,4}$	$\frac{20-296}{252}$
Иркутская область г. Черемхово	Дерново-карбонатные, серые лесные	2001, 2007, 2014, 2021	$\frac{0,4-4,2}{4,2}$	$\frac{12-27,6}{27,6}$	$\frac{10-27}{12,5}$	$\frac{62-110}{83,5}$	–
г. Свирск	Серые лесные	2001, 2007, 2014, 2021	$\frac{0,9-2,8}{2,8}$	$\frac{12-53,3}{53,3}$	$\frac{12-31}{12,5}$	$\frac{51,7-81}{51,7}$	–
Дальневосточный федеральный округ							
Приморский край г. Артем	Бурые лесные	1985, 2001, 2008, 2021	$\frac{0,07-0,25}{0,07}$	$\frac{8,9-14}{8,9}$	$\frac{15-30}{19,0}$	$\frac{52-80,5}{80,5}$	–
г. Большой Камень	Бурые лесные	1989, 2002, 2011, 2021	$\frac{0,05-0,25}{<0,05}$	$\frac{10,4-17}{10,4}$	$\frac{14,1-30}{14,1}$	$\frac{52-85}{52,1}$	–
Уральский федеральный округ							
Свердловская область п. Мариинск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	1999-2021	$\frac{0,5-2,2}{0,6}$	$\frac{15-281}{94,8}$	$\frac{7,0-137}{26,0}$	$\frac{44-213}{118,8}$	–
г. Нижний Тагил С 146 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2006, 2011, 2016, 2021	$\frac{0,3-1,4}{0,3}$	$\frac{16-107}{40}$	$\frac{12-33}{12}$	$\frac{57-122}{62}$	–
Приволжский федеральный округ							
Нижегородская область г. Дзержинск территория городского округа г. Дзержинска	Дерново-подзолистые	2013, 2018-2021	$\frac{<0,5-4,0}{<0,5}$	$\frac{5-13}{<13}$	$\frac{<5-11}{<10}$	$\frac{16-49}{41}$	$\frac{32-98}{92}$
Самарская область НПП «Самарская Лука» 3 100 км от г. Самара	Черноземы	2006-2021	$\frac{0,2-2,8}{0,3}$	$\frac{7-118}{25,7}$	$\frac{8-88}{19,3}$	$\frac{35-219}{59,1}$	$\frac{9-175}{104,5}$
АГМС п. Аглос ЮЗ 20 км от г. Самара			$\frac{0,1-2,5}{0,7}$	$\frac{8-55}{20,4}$	$\frac{1-21}{16,6}$	$\frac{31-271}{60,2}$	$\frac{2,4-69,2}{69,2}$
Удмуртская Республика В 20 км от г. Глазов	Дерново-подзолистые	2003, 2004, 2006, 2021	<0,5*	$\frac{18-69}{18}$	$\frac{8-160}{8}$	$\frac{43-770}{43}$	$\frac{28-40}{<28}$
Республика Татарстан г. Казань СЗ 20 км	Дерново-подзолистые	2008-2021	$\frac{0,1-0,5}{0,4}$	$\frac{1,2-11}{1,7}$	$\frac{3-18}{4,0}$	$\frac{9,3-180}{15,5}$	$\frac{2,3-96}{42,8}$
г. Нижнекамск г. Набережные Челны СВ, Национальный парк «Нижняя Кама»		2008-2021	$\frac{0,1-1,1}{1,1}$	$\frac{5-28,8}{28,8}$	$\frac{2,3-22}{13}$	$\frac{17-89,6}{89,6}$	$\frac{15-150}{126}$
Республика Башкортостан г. Белорецк ЮЗ 20 км от АО «БМК»	Серые лесные	2005, 2011, 2021	$\frac{0,3}{-}$	$\frac{14-27}{14}$	$\frac{11-21}{11}$	$\frac{51-140}{51}$	–
г. Учалы ЮЗ 18 км от АО «УГОК»	Типичные черноземы	2005, 2011, 2021	$\frac{0,1-0,3}{0,1}$	$\frac{20-27}{20}$	$\frac{14-21}{14}$	$\frac{10-140}{10}$	–

Примечание: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2021 г.

* – данные наблюдений только за 2021 г.

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

3.1. Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ

Тяжелые металлы

В 2021 г. фоновое содержание ртути, свинца, кадмия в поверхностных водах большинства фоновых районов России соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние годы, и составило для ртути 0,21–0,67 мкг/л, свинца 0,28–1,62 мкг/л, кадмия 0,02–3,0 мкг/л. На Азиатской части России фоновые концентрации тяжелых металлов, как правило, ниже, чем на Европейской части России (табл. 3.1.1).

По данным сети СКФМ в течение последних 10-лет сохраняется тенденция стабилизации фонового содержания тяжелых металлов.

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	2021 г	Диапазон	2021 г	Диапазон	2021 г
Кавказский БЗ	1982-2021	0,2-16,0	1,62	0,004-2,5	0,036	0,03-1,4	0,40
Приокско-Террасный БЗ	1987-2021	нпо-39,4	0,31	0,03-3,5	0,13	0,03-8,7	0,25
Астраханский БЗ	1988-2021	0,08-128	0,58	0,1-413	3,01	0,01-74	0,67
Воронежский БЗ	1990-2021	0,16-50	0,28	0,01-4,6	0,02	0,06-0,54	0,21
Яйлю	2002-2021	0,01-3,6	0,20	0,01-1,7	0,34	0,01-0,44	0,07

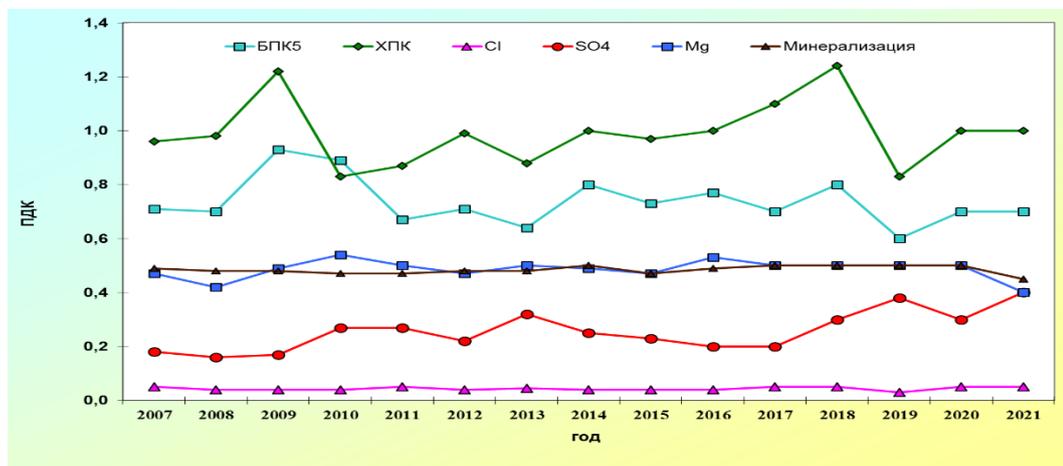
нпо - ниже предела обнаружения

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

Бассейн Азовского моря.

Качество воды р. Ворона в черте г. Уварово, характеризуемое в течение большинства предыдущих лет как «условно чистая», либо «слабо загрязненная», ухудшилось в 2020 г., не изменилось в 2021 г., оставаясь на уровне «загрязненная». В 2021 г. по сравнению с 2020 г. среднегодовое содержание большинства загрязняющих веществ практически не изменилось и достигало, либо незначительно превышало ПДК, за исключением нитритного азота, среднегодовая концентрация которого снизилась от 2 ПДК до значений, не превышающих ПДК (рис. 2.5.1.1). Число случаев превышения ПДК возросло нефтепродуктами от 29 до 71 %, аммонийным азотом от 14 до 43 %, максимальные концентрации которых регистрировались на уровне 2 ПДК, соединений железа 4 ПДК.

а)



б)

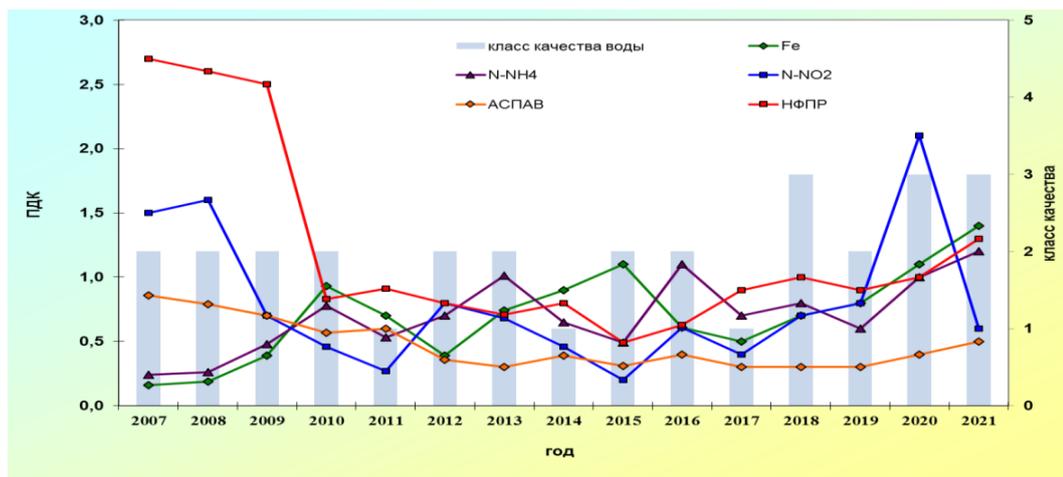
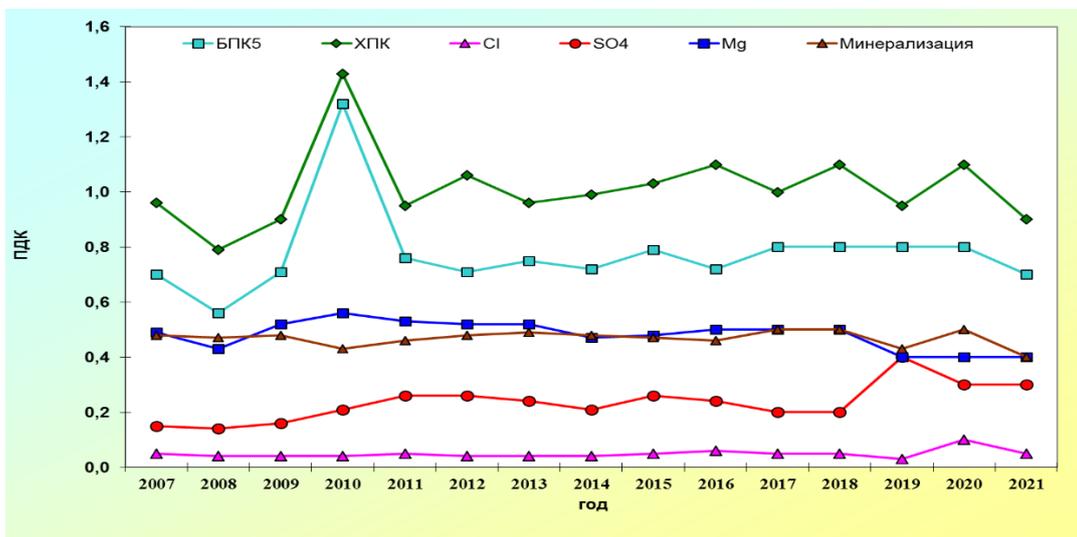


Рис. 2.5.1.1 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды р. Ворона в черте г. Уварово в многолетнем плане (а,б)

В многолетнем плане качество воды р. Лесной Воронеж выше г. Мичуринск варьирует в пределах «условно чистая» - «слабо загрязненная». В 2021 г. улучшилось качество воды реки в результате снижения содержания нитритного азота: среднегодового от 1,5 ПДК, максимального

3 ПДК до значений, не превышающих ПДК и повторяемости случаев превышения ПДК от 83 до 0 %. Улучшился режим растворенного в воде кислорода, минимальная концентрация которого в 2021 г. не снижалась ниже 7,14 мг/л (в 2020 г. - 5,48 мг/л). Вода по качеству перешла из «слабо загрязненной» в «условно чистую». Среднегодовые концентрации определяемых веществ были ниже ПДК (рис. 2.5.1.2). Максимальные концентрации соединений железа и органических веществ (по ХПК) незначительно превышали нормативы.

а)



б)

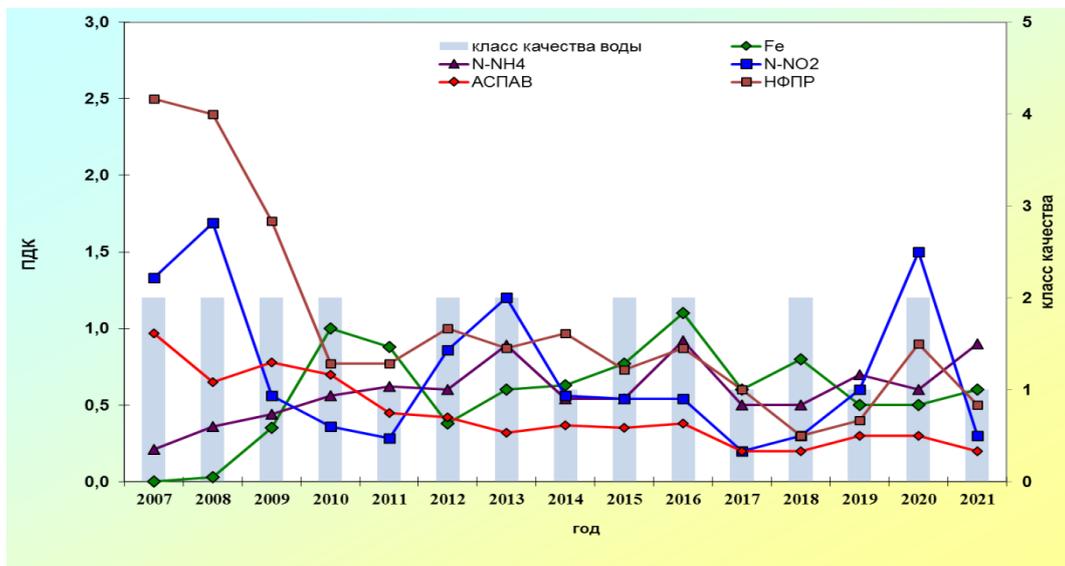


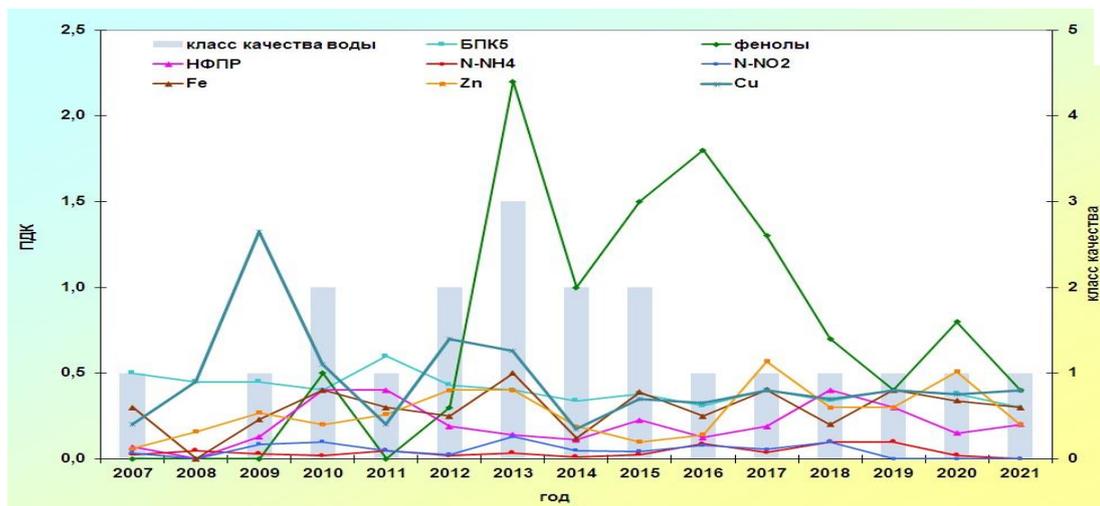
Рис. 2.5.1.2 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды р. Лесной Воронеж выше г. Мичуринск в многолетнем плане (а, б)

Бассейн Карского моря

Притоки озера Байкал. В 2021 г. вода в устьевых участках 9 рек, выбранных в качестве фоновых (рр. Голоустная, Сарма, Большая Сухая, Мантуриха, Мысовка, Снежная, Выдриная, Утулик, Хара-Мурин) оценивалась как «условно чистая». Качество воды р. Бугульдейка несколько ухудшилось по сравнению с 2016-2020 гг. и характеризовалось как «слабо загрязненная»; в воде возросли по сравнению с 2020 г. среднегодовые концентрации соединений

меди и органических веществ (по ХПК) в 1,6 и 2,2 раза соответственно. Превышение концентраций фенолов в воде на уровне 1,5-3 ПДК выявлено в 20-60 % пробах воды всех рек, исключая р. Мысовка, где максимальные концентрации фиксировались на уровне 1 ПДК. В воде р. Снежная в одной из проб регистрировались концентрации соединений меди на уровне 1 ПДК. Содержания органических веществ (по ХПК) на уровне 36,3-38,5 мг/л отмечались в 25% проб воды рек Голоустная, Бугульдейка, Сарма. На рис. 2.5.1.3 показано изменение качества воды притоков озера Байкал за период с 2007 по 2021 гг.

а)



б)

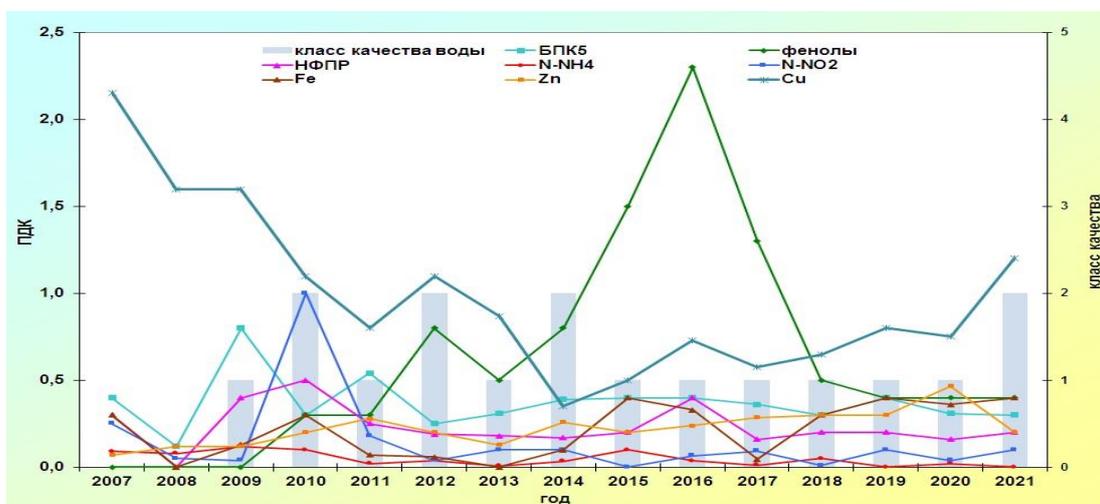
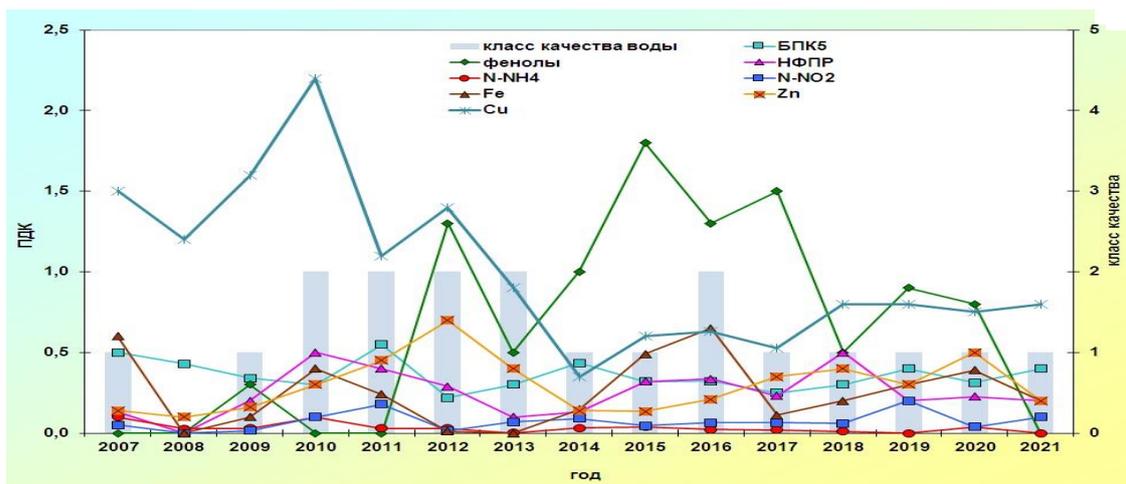
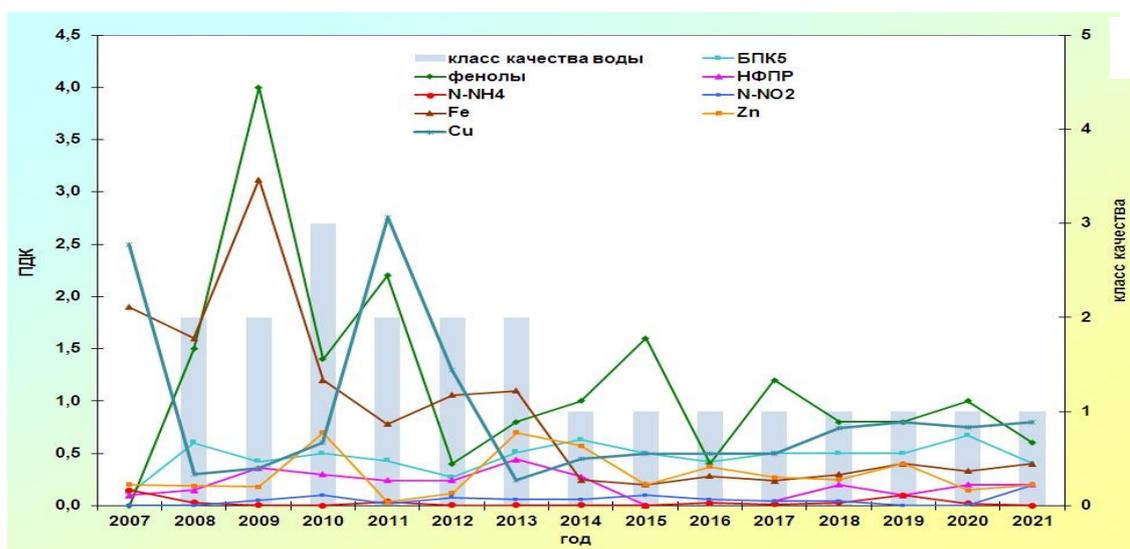


Рис. 2.5.1.3 (начало). Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды притоков оз. Байкал: а) р. Голоустная, б) р. Бугульдейка, в) р. Сарма, г) р. Мантуриха, д) р. Мысовка в многолетнем плане

В)



Г)



Д)

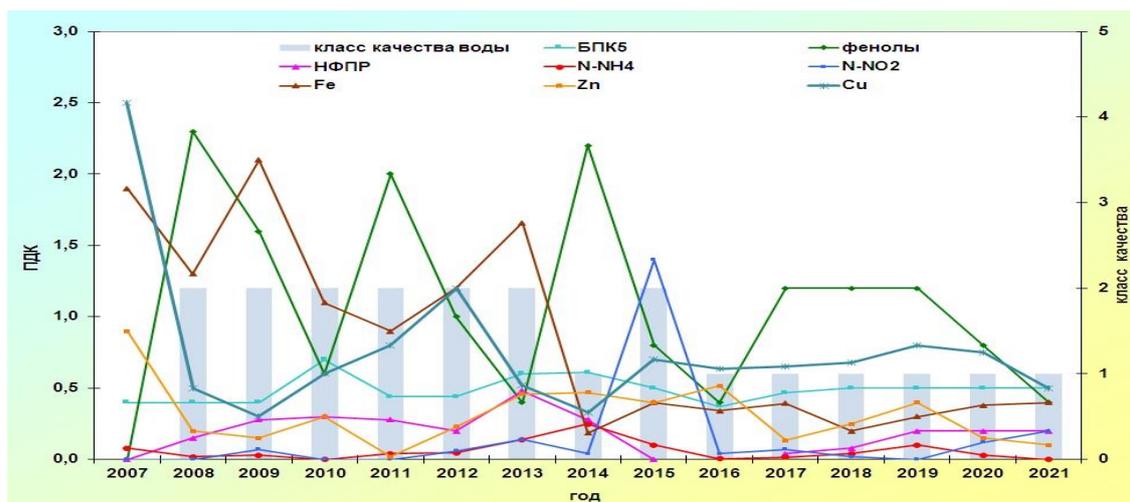


Рис. 2.5.1.3 (окончание). Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды притоков оз. Байкал: а) р. Голоустная, б) р. Бугульдейка, в) р. Сарма, г) р. Мантуриха, д) р. Мысовка в многолетнем плане

Вода **Иркутского водохранилища** в трех створах наблюдений (исток Ангары, п. Патроны, г. Иркутск) в 2021 г. оценивалась как «условно чистая» (рис. 2.5.1.4). Во всех створах в 8-33 % проб воды регистрировались концентрации фенолов в 1,5-3,1 раза превышающие ПДК. В створе г. Иркутск в одной из проб выявлены концентрации соединений меди на уровне 1 ПДК.

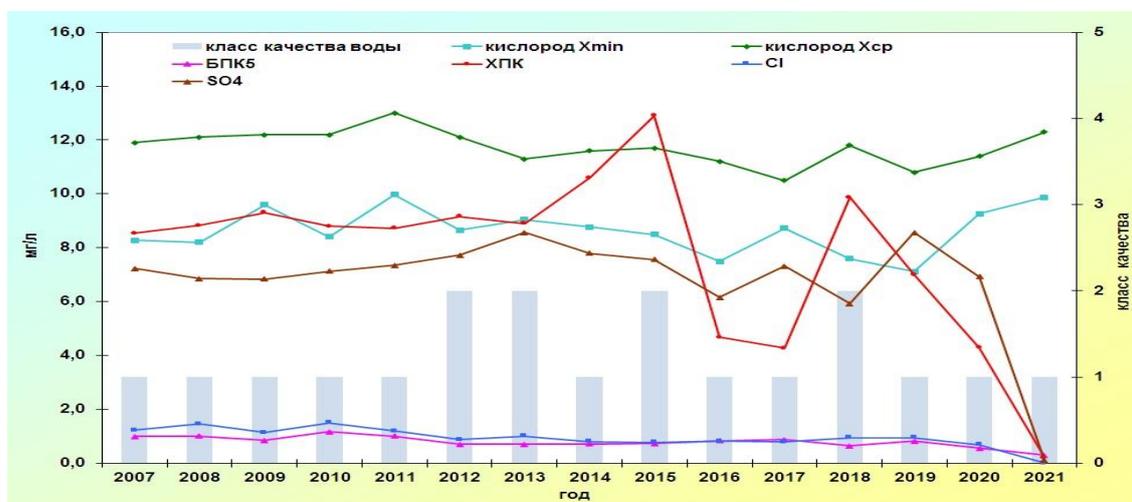


Рис. 2.5.1.4. Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды Иркутского водохранилища, ОГП-1, исток Ангары в многолетнем плане

Бассейн Восточно-Сибирского моря

Река Лена. В многолетнем плане качество воды р. Лена в верхнем створе р.п. Качуг характеризовалось как «слабо загрязненная», в отдельные годы - как «условно чистая». Хорошее качество воды р. Лена в створе р.п. Качуг обусловлено низким содержанием среднегодовых концентраций соединений металлов, нефтепродуктов, аммонийного и нитритного азота не превышающих 1 ПДК (рис. 2.5.1.5).

В 2021 г. вода реки по качеству в данном створе ухудшилась и оценивалась как «слабо загрязненная», за счет увеличения количества загрязняющих веществ от 2-х до 4-х из 14, учтенных в комплексной оценке качества воды.

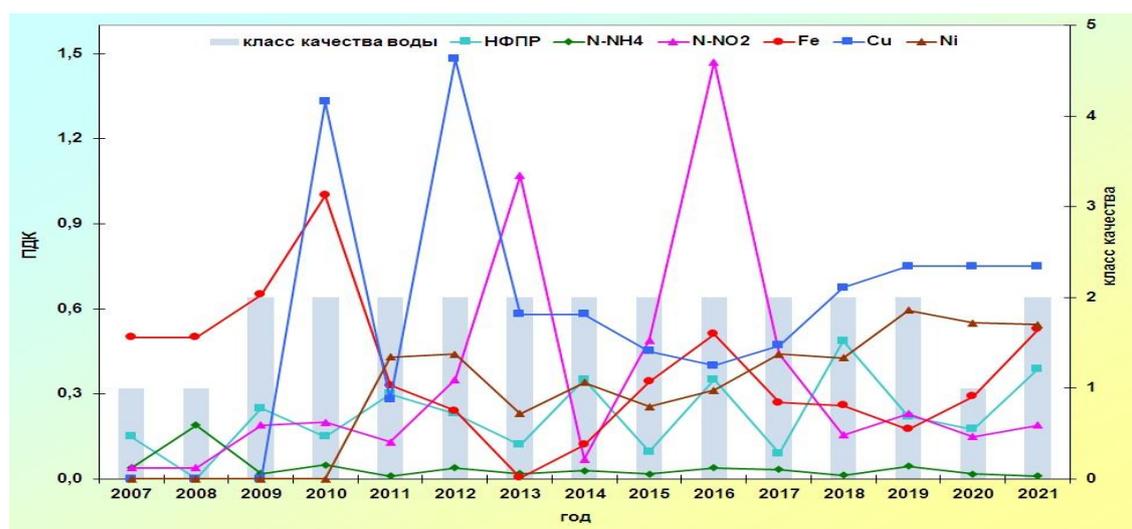


Рис. 2.5.1.5. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды р. Лена, р.п. Качуг в многолетнем плане

В течение 2013-2021 гг. качество воды р. Лена в створе г. Усть-Кут не изменилось и характеризовалось «слабо загрязненной» (рис. 2.5.1.6). Среднегодовые концентрации мало изменились и были ниже или в пределах ПДК.

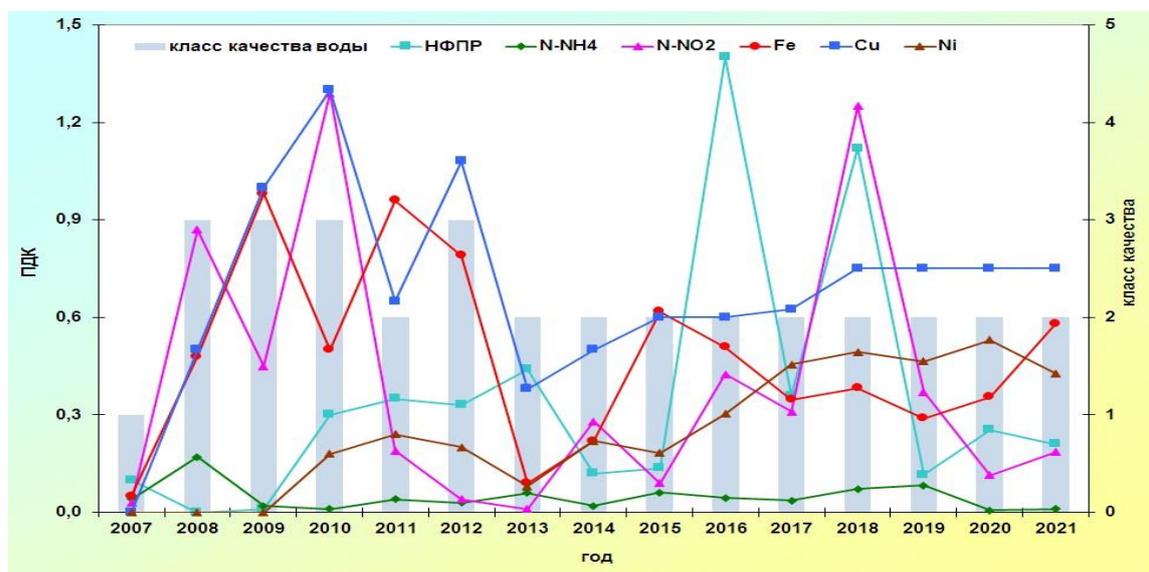


Рис. 2.5.1.6 Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды р. Лена, г. Усть-Кут в многолетнем плане

Бассейн Тихого океана

Поверхностные воды бассейна Тихого океана расположены на территории Дальневосточного Федерального округа.

Реки о. Сахалин. Изучение фонового загрязнения поверхностных вод о. Сахалин в 2021 г. проводилось на примере обоснованно выбранных участков р. Рогатка, р. Правда, р. Лютога, р. Чеховка, р. Углегорка, р. Очепуха. В 2021 г., как и в предшествующий многолетний период, организованный сброс сточных вод в эти реки отсутствовал.

Река Рогатка, приток р. Красносельская в бассейне р. Сусуя, наблюдается на фоновом участке выше г. Южно-Сахалинск. По основному химическому составу вода реки маломинерализована. Суммарное содержание главных ионов в 2021 г. изменялось от 52,6 мг/л до 74,1 мг/л, в среднем составляя 62,8 мг/л. Содержание взвешенных веществ в воде р. Рогатка в 2021 г. достигало 12,0 мг/л при среднегодовом значении 7,00 мг/л. Хорошим был режим растворенного в воде кислорода, содержание которого в течение 2021 г. колебалось в пределах 7,50-12,4 мг/л.

Невысоким было содержание в воде р. Рогатка органических веществ (по ХПК), значения которых варьировали во внутригодовом режиме в диапазоне 7,50-15,3 мг/л. В 14 % проб содержания органических веществ (величины БПК₅) воды превышали нормативное при максимальном значении 2,60 мг/л. В 2021 г., как и в предыдущие годы, в воде р. Рогатка отсутствовали фенолы, нитритный азот, соединения никеля (рис. 2.5.1.7.).

Возросли в среднем концентрации в воде соединений меди до 3,3 ПДК. С учетом комплекса присутствующих в воде веществ вода р. Рогатка в 2021 г. характеризовалась как «слабо загрязненная».

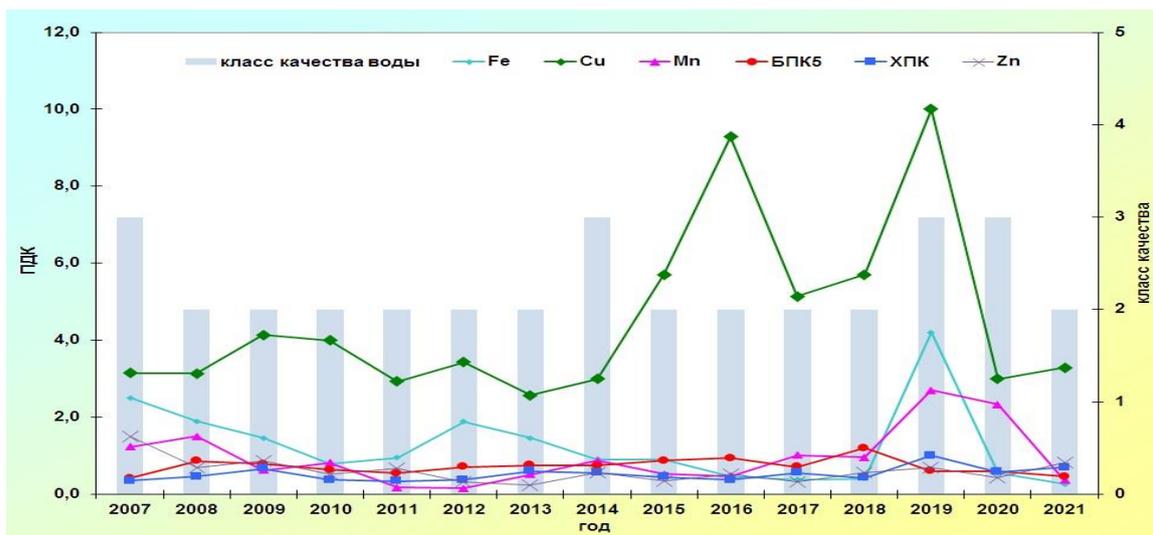


Рис. 2.5.1.7. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и показателей качества воды р. Рогатка в фоновом пункте г. Южно-Сахалинск за многолетний период

Река Правда впадает в Татарский пролив. В створе наблюдений за фоновым состоянием в пункте п. Правда в 2021 г., как и в предыдущие годы, наблюдали некоторое увеличение до 3 и 2 ПДК среднегодовых концентраций соединений меди и нефтепродуктов. Среднегодовые концентрации азота аммонийного, азота нитритного и азота нитратного, железа, цинка, марганца, фенолов не превышали ПДК (рис. 2.5.1.8.).

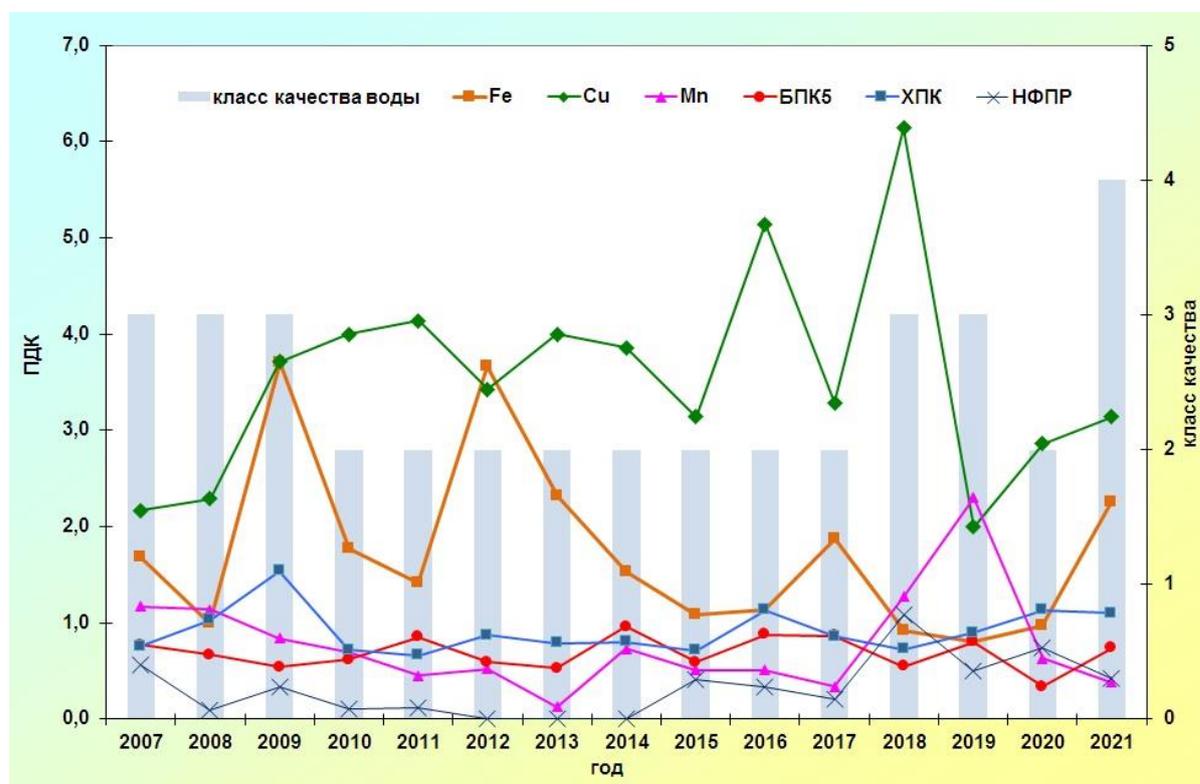


Рис. 2.5.1.8. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и показателей качества воды р. Правда, в фоновом пункте п. Правда

Река Лютога у п. Чапланово по качеству в 2021 г., как и в 2020 г., относится ко 2-му

классу и характеризуется как «слабо загрязненная». По сравнению с предыдущими годом каких-либо существенных изменений ни по одному показателю качества воды не наблюдали. Среднегодовые концентрации органических веществ (по ХПК, БПК₅) в воде соответствовали нормативным требованиям. Концентрации азота аммонийного и нитритного были близки к нулевым значениям.

Реки полуострова Камчатка. На полуострове Камчатка в фоновых пунктах гидрохимических наблюдений р. Берш у с. Пушино, р. Камчатка в фоновых створах, р. Большая, р. Быстрая выше с. Малки вода по качеству, в основном, соответствовала фоновому состоянию. Произшедшие изменения были незначительными.

Река Берш в створе 2,5 км к западу от с. Пушино в 2021 г. в основном отражала или была близка к фоновому состоянию поверхностных вод полуострова. В 2021 г. среднегодовые значения концентрации соединений свинца, кадмия, органических веществ (по ХПК и БПК₅) оставались в пределах нормативных требований. Вода р. Берш по качеству оценивалась как «слабо загрязненная» (рис. 2.5.1.9).

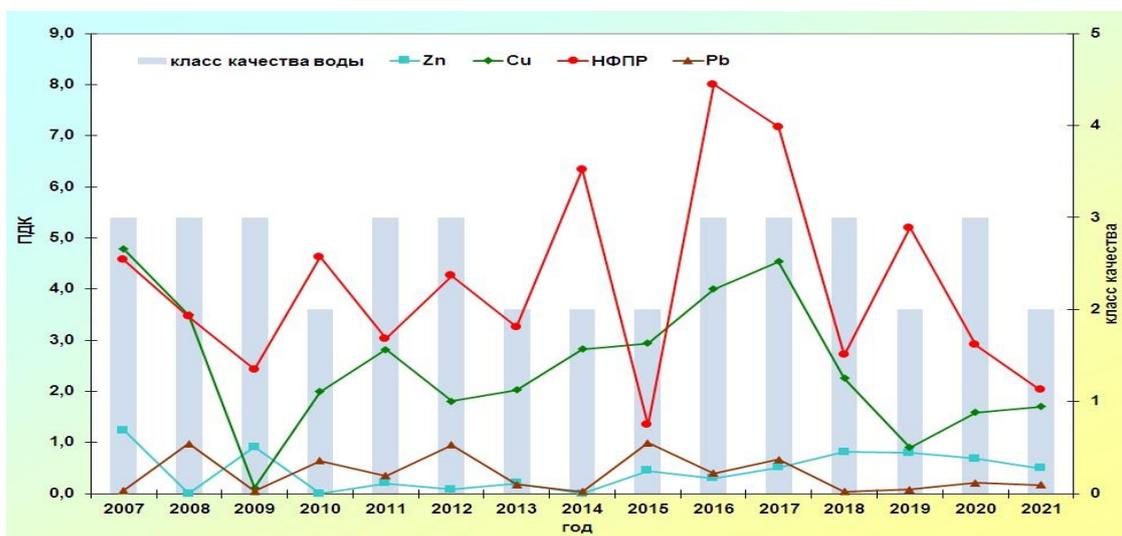


Рис. 2.5.1.9. – Изменение среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и показателей качества воды р. Берш в пункте с. Пушино за многолетний период

В ряде проб воды отмечали концентрации в воде соединений меди и кадмия не выше 1,5 ПДК и 4 ПДК, что соответствует природным факторам формирования поверхностных вод в данном регионе. В то же время наличие концентраций в воде р. Берш у с. Пушино нефтепродуктов в среднем на уровне 2 ПДК и максимальной концентрацией 6 ПДК свидетельствует о нарушении естественных условий формирования качества воды. В пункте фоновых наблюдений **р. Камчатка**, 0,8 км на север от с. Пушино также фиксировали загрязненность воды р. Камчатка нефтепродуктами в среднем 1,29 ПДК и максимальной концентрацией 4 ПДК. Качество воды р. Берш и р. Камчатка в этих створах оценивалась как «слабо загрязненная».

Река Большая Быстрая в створе выше с. Малки в 2021 г. не точно отражает фоновое состояние поверхностных вод региона, показывая вероятное участие в формировании химического состава антропогенной составляющей. В частности, в 71 % проб воды реки на этом участке концентрации нефтепродуктов в среднем превышали нормативное в 6 раз при наибольшем значении 11 ПДК.

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 химического состава поверхностных вод с целью получения данных для оценки воздействия кислотных выпадений на экосистемы водоемов 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 исследований в Европе и Японии.

На российской сети ЕАНЕТ долгосрочные наблюдения ведутся на двух водных объектах: р. Переемная, бассейн 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 в Обзоре за 2011 г., в ежегодниках данных ЕАНЕТ ("ЕАНЕТ Data Report") и 4-м Периодическом отчете о состоянии кислотных выпадений в Восточной Азии (2021).

В 2021 году в воде реки Комаровка наблюдалось повышенные концентрации катионов кальция и магния в осенний период. Концентрации сульфатов также показали возрастание в сентябре относительно среднемноголетних значений. Содержание нитратов и ионов аммония стало ниже по сравнению со средними многолетними значениями. Для реки Переемная существенных отличий уровня содержания наблюдаемых веществ от средних многолетних показателей не было выявлено (Табл. 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 2007–2021гг.

Вещество (измеряемое соединение)	р. Комаровка (Приморье)			р. Переемная (бассейн оз. Байкал)		
	Среднее		Диапазон измерений (2007–2021)	Среднее		Диапазон измерений (2007–2021)
	многолетнее	2021 г		многолетнее	2021 г	
рН	6,94	7,91	6,35 - 8,40	6,72	6,76	6,41 - 7,21
SO ₄ ²⁻ , мг/л	12,05	15,13	3,57 – 25,23	11,11	10,84	6,37 - 15,44
NO ₃ ⁻ , мг/л	1,87	1,05	0,10 – 6,15	0,71	0,67	0,18 - 1,30
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,18	0,11	0,01 - 1,03	0,02	0,013	нпо - 0,25
Ca ²⁺ , мг/л	8,85	12,81	5,20 - 25,67	4,76	4,85	2,97 - 6,32
Mg ²⁺ , мг/л	2,25	3,31	0,60 - 7,10	0,88	0,84	0,50 - 1,34
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,03	0,01	нпо - 0,12	0,002	0,002	нпо - 0,01

нпо – результаты измерения ниже предела обнаружения, установленного методиками измерений.

Кислотность поверхностных вод

За весь период наблюдений среднегодовые значения величины рН воды в р. Переемной изменялись от 6,59 до 6,88, при среднем многолетнем 6,72 и вариациях измерений от 6,41 до 7,21 ед. рН. В сезонном ходе наиболее высокие значения наблюдаются летом: среднее за многолетний период 7,0. Среднее значение рН для зимы около 6,7, наиболее низкие значения наблюдались весной.

В Приморье в водах р. Комаровка в 2021 году нарушилась тенденция увеличения кислотности, значения колебались от 7,61 до 8,40 ед. рН. Среднее за год составило 7,91, что значительно выше среднего значения за период наблюдения 2007–2020 гг. Для р. Комаровки не наблюдается значительных различий величины рН между сезонами, тем не менее, как правило, характерен рост значений рН от зимы к осени.

По результатам наблюдений в 2021 г. продолжается отмеченная ранее тенденция сохранения в среднем примерно одинакового уровня и вариации значений кислотности для р. Переемная (рис.3.3.1). В связи с тем, что в 2021 году для р. Комаровка наблюдается аномальное повышение значений рН, нарушился тренд их ежегодного понижения. Для определения изменения тенденции необходимо проследить динамику рН поверхностных вод в последующие годы.

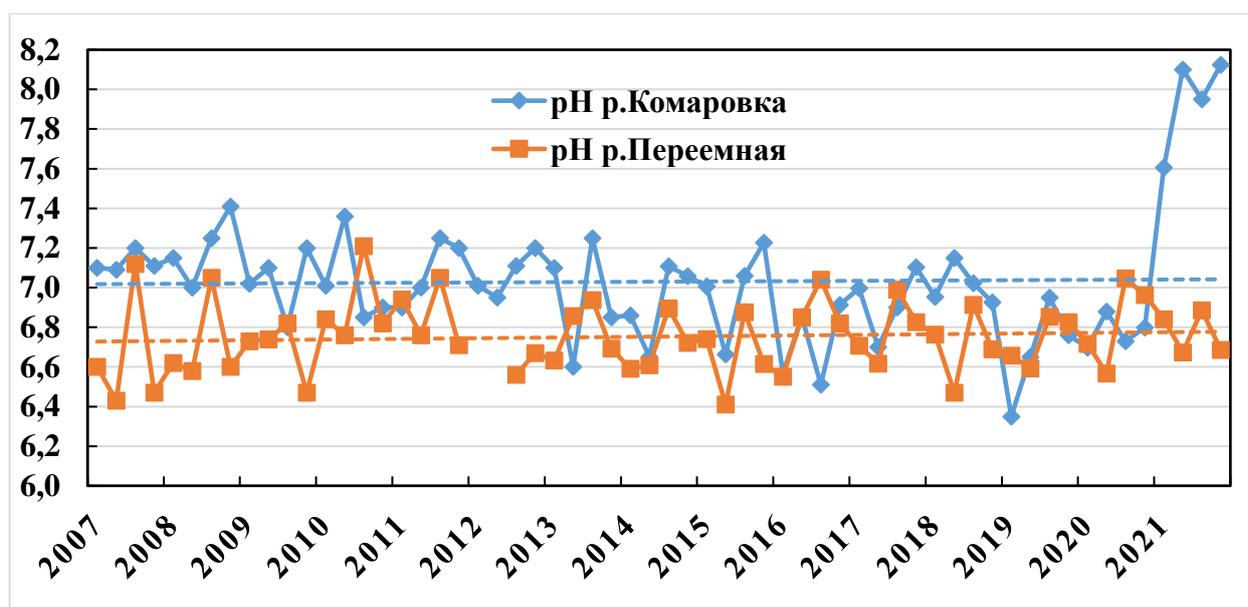


Рис.3.3.1 Тенденции изменения рН в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал.

Содержание сульфатов

В 2021 году среднегодовое содержание сульфатов в воде р. Комаровка составило 15,13 мг/л, при этом в течение года значения изменялись от 9,4 до 25,23 мг/л. Для р. Переемная среднегодовая концентрация составила 10,84 мг/л (Таблица 3.3.1), интервал изменений также оставался на уровне характерных значений - от 7,69 до 12,83 мг/л.

В годовом ходе концентраций для р. Комаровка отсутствуют повторяющиеся ежегодно сезоны с минимальным значением, тогда как для р. Переемной можно отметить выраженное уменьшение концентраций в весенние месяцы. За весь период 2007–2021 гг. абсолютные минимальные измеренные значения составили 3,57 для реки Комаровка (в летний период 2010 года) и 6,37 мг/л для реки Переемная (в весенний период 2011 года). Абсолютные максимальные измеренные значения составили 25,23 для реки Комаровка (в осенний период 2021 года) и более 15 мг/л для реки Переемная (в весенний период 2010 года и летом 2020 г.) (рис. 3.3.2).

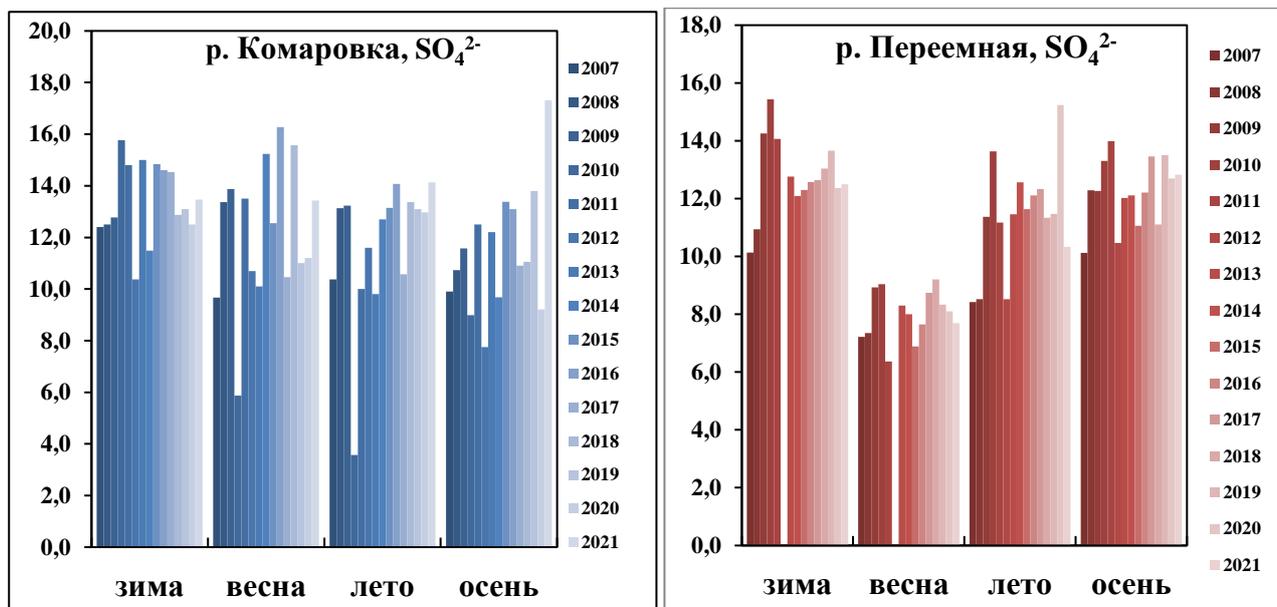


Рис.3.3.2 Сезонные изменения концентраций сульфатов (мг/л) в водах р. Комаровка (слева) и р. Переемная (справа) в 2007–2021гг.

Содержание нитратов

В 2021 году среднегодовое содержание нитратов для р. Комаровка снизилось по сравнению с прошлым годом и составило 1,05 мг/л, что ниже уровня среднееголетних значений. Для р. Переемная среднегодовое значение незначительно повысилось и составило 0,67 мг/л. Средние многолетние значения концентраций нитратов в р. Комаровка и в р. Переемная составляют 1,87 и 0,71 мг/л, соответственно. В целом интервал измеренных концентраций в р. Комаровка составляет от 0,10 мг/л до 6,15 мг/л, что значительно больше, чем для р. Переемная (от 0,18 до 1,30 мг/л). В годовом ходе для р. Переемная явно прослеживается закономерность снижения концентрации в летне-осенний период; для р. Комаровка отсутствуют чёткие закономерности, тем не менее, в некоторые годы прослеживается снижение содержания нитратов в летний и осенний сезоны (рис. 3.3.3).

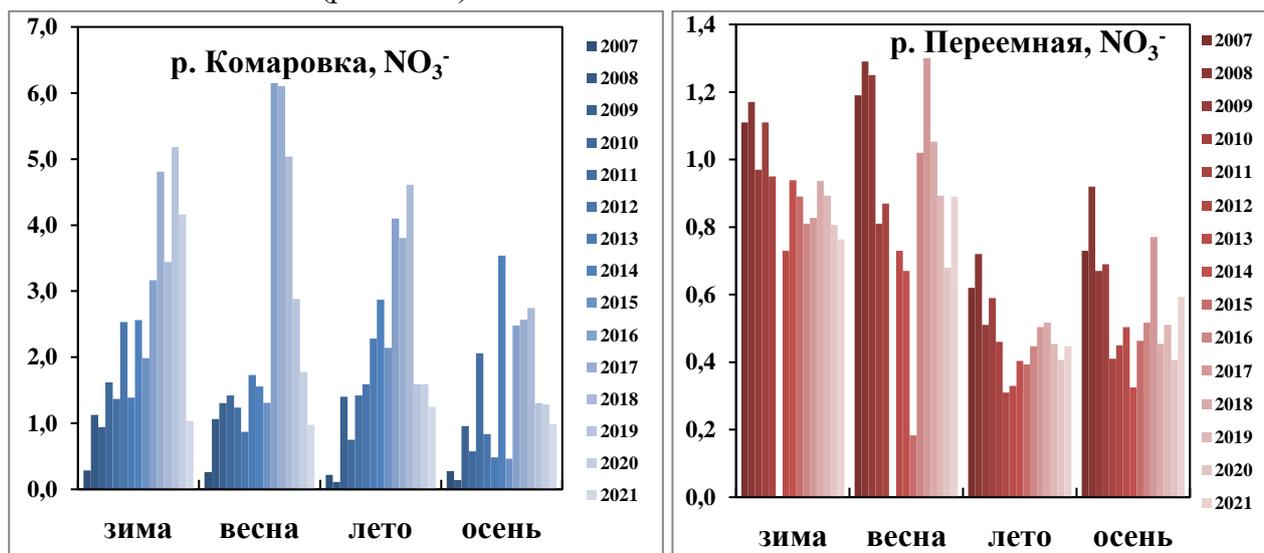


Рис.3.3.3 Внутригодовые изменения концентраций нитратов (мг/л) в р. Комаровка (слева) и р. Переемная (справа) в 2007-2021гг.

По результатам измерений в 2007–2021 гг. для р. Переемная отмечается тенденция снижения содержания нитратов. Для р. Комаровки до 2019 г наблюдалось повышение содержания нитратов в воде, в 2019-2021 гг их концентрации снижаются (рис.3.3.4).

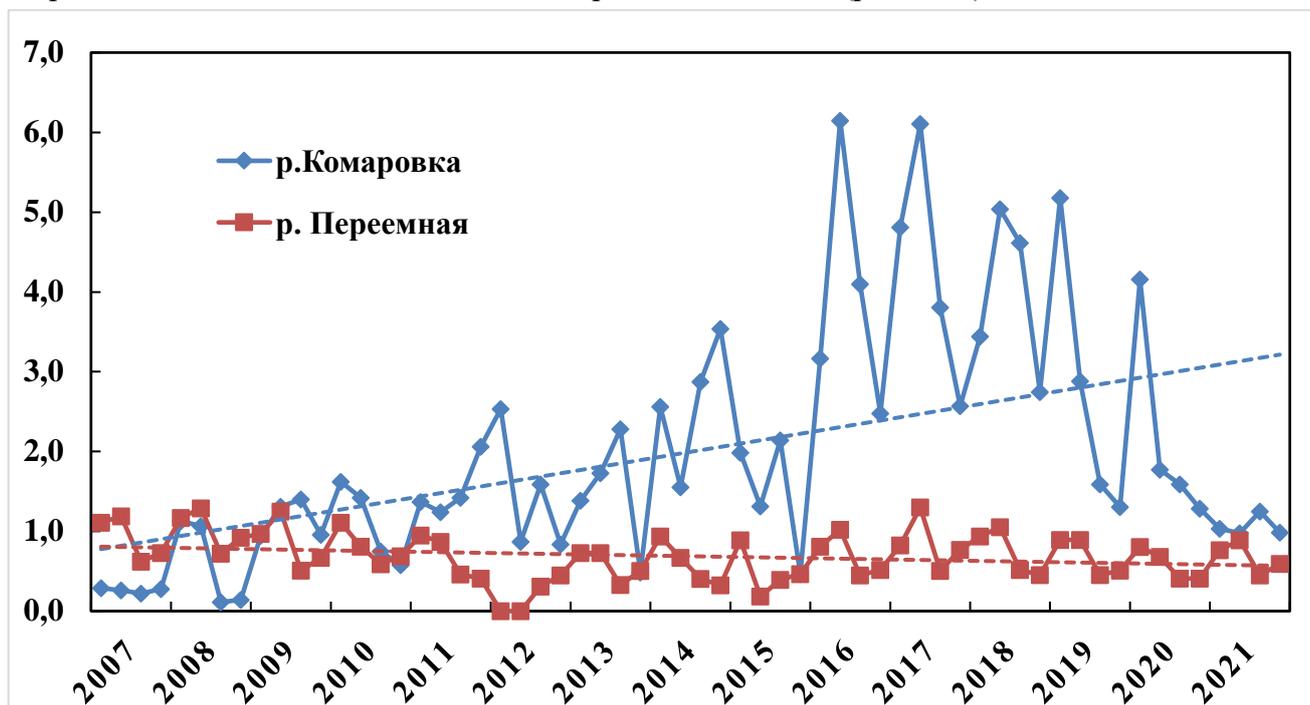


Рис.3.3.4 Тенденции изменения концентраций нитратов (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал (р. Переемная).

Основные катионы

Среднее содержание ионов кальция, являющегося преобладающим из катионов, для р. Комаровка в 2021 году составило 12,81 мг/л, при среднем многолетнем 8,85 мг/л. Содержание магния составило 3,31 мг/л, при среднем многолетнем 2,25 мг/л. Для р. Переемная, среднее содержание ионов кальция и магния составило 4,85 м/л и 0,84 мг/л, соответственно, что незначительно отличается от средних многолетних значений: 4,76 мг/л для кальция и 0,88 мг/л для магния. В целом, уровни концентраций ионов кальция и магния в воде р. Комаровка значительно выше, чем в р. Переемная.

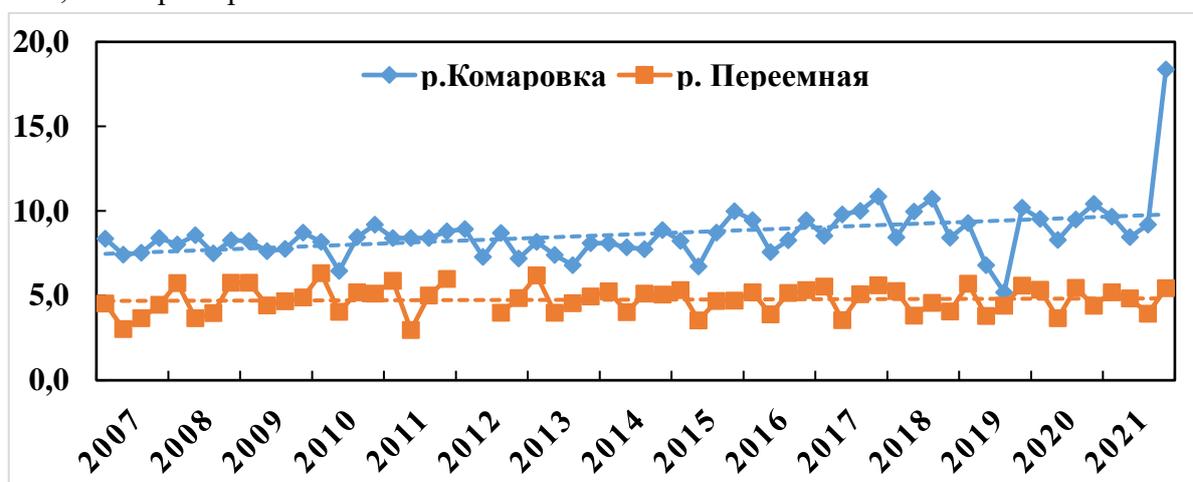


Рис.3.3.5 Изменения концентраций кальция (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

В 2021 году продолжилась тенденция на увеличение содержания ионов кальция в воде р. Комаровка (рис. 3.3.5). Колебания значений в течение года составили от 8,47 мг/л до 25,67 мг/л (в сентябре), это максимальное измеренное значение за весь период 2007–2021 гг. Среднегодовое содержание кальция в воде р. Переемная в 2021 г. было характерным для уровней последних лет и составило 4,85 мг/л при колебаниях концентраций в течение года от 3,93 мг/л до 5,44 мг/л.

Среднее содержание ионов магния в водах р. Комаровки в 2021 году составило 3,31 мг/л, это выше среднего многолетнего 2,25 мг/л. Внутригодовые колебания концентраций составили от 1,33 мг/л до 7,1 мг/л (в сентябре), это максимальное измеренное значение за весь период 2007–2021 гг. Среднегодовое содержание ионов магния в воде р. Переемная было характерным для уровней последних лет (рис. 3.3.6) и составило 0,84 мг/л, что немного ниже среднего многолетнего 0,88 мг/л, при внутригодовых колебаниях концентраций от 0,72 мг/л до 0,96 мг/л.

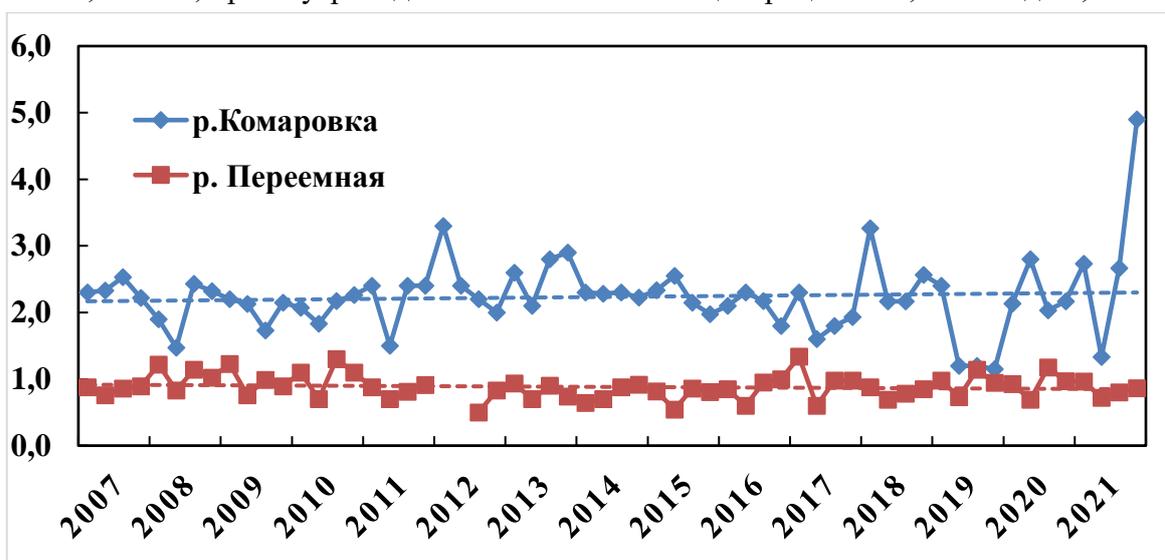


Рис.3.3.6 Изменения концентраций магния (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

Содержание аммония в водах р. Комаровка в 2021 году было незначительно ниже среднего многолетнего и в течение года концентрации колебались от 0,048 мг/л до 0,272 мг/л (рис. 3.3.7). В водах р. Переемная среднегодовое значение концентраций NH_4^+ также было ниже, чем среднее многолетнее значение.

Соотношения основных анионов и катионов

При анализе совмещённых годовых ходов концентраций кальция и сульфатов можно отметить, что содержание сульфатов в целом более высокое, чем кальция, однако осенью 2021 года содержание сульфатов в р. Комаровка было ниже содержания кальция. Как отмечалось ранее, уровень концентраций нитратов в водах реки существенно ниже концентраций кальция и сульфатов (рис. 3.3.8 вверху).

Минимальные и максимальные значения основных анионов и кальция, выраженные в эквивалентной форме (для прослеживания их роли в формировании кислотно-щелочной реакции воды), наблюдаются практически в одни и те же периоды (за исключением, например, резкого увеличения содержания суммы главных анионов в апреле 2016 г., а также уменьшения суммы анионов в сентябре 2017 г. и 2020 г.). Для р. Комаровка содержание кальция (в эквива-

лентных единицах) практически всегда примерно в полтора раза выше, чем общее содержание сульфатов и нитратов (за исключением осени 2021 г., когда содержание кальция в эквивалентных единицах было больше примерно в 2,5 раза), что обеспечивает близкий к нейтральному рН поверхностных вод в малых реках Приморья (рис. 3.3.8).

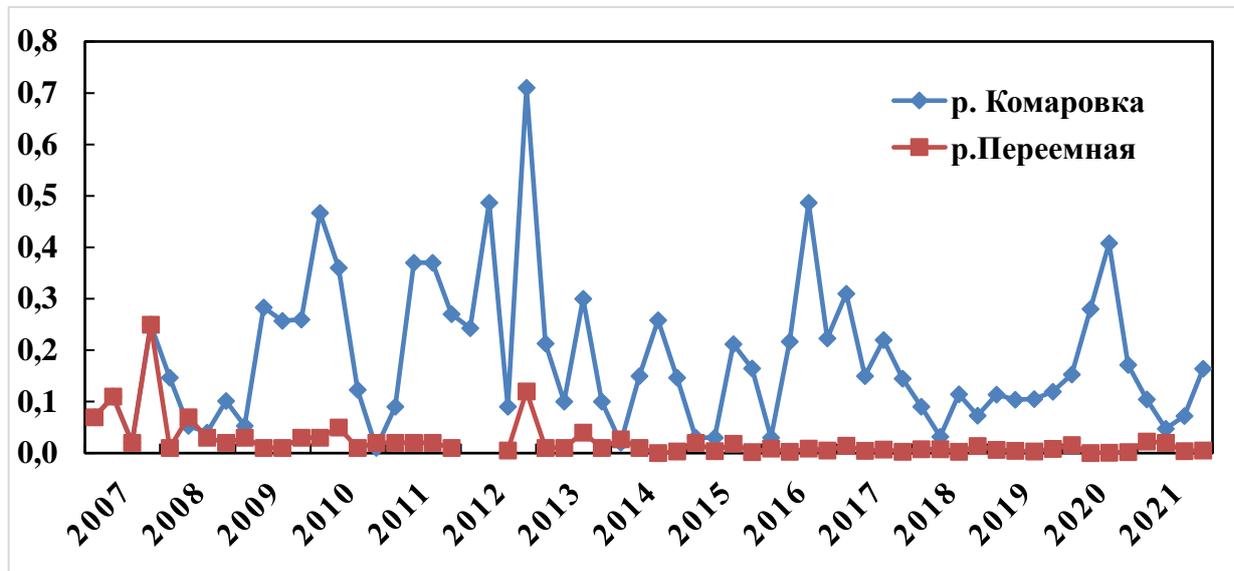


Рис.3.3.7 Изменения концентраций аммония (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

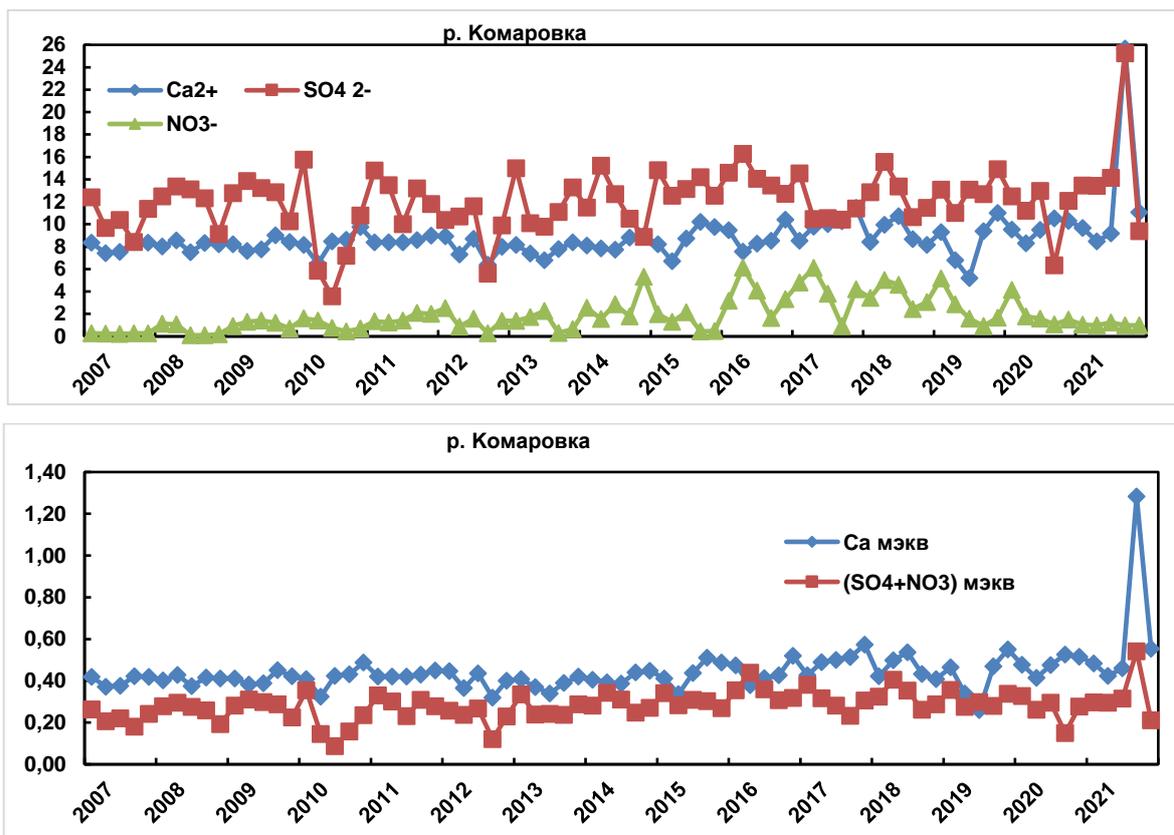


Рис.3.3.8 Динамика согласованного изменения сульфатов, нитратов и кальция (верхний, мг/л), и их эквивалентов (нижний, мэкв/л) в поверхностных водах на станции ЕАНЕТ Приморская в 2007–2021гг.

Как и в предыдущие годы, в 2021 году в водах р. Переемная преобладающими анионами были сульфаты, а катионами – кальций, при этом сульфаты, по массовым концентрациям, также всегда превышают содержание кальция (рис. 3.3.9). Уровень концентраций нитратов в водах р. Переемная также существенно ниже концентраций кальция и сульфатов.

В течение 2021 года отношение кальция к сумме ионов сульфатов и нитратов (в экв) составляло чуть больше 1,0. Такое соотношение данных веществ, характерное для вод р. Переемная, является причиной низкой буферной способности к нейтрализации кислотных компонентов. Вода реки оценивается как крайне неустойчивая к закислению.

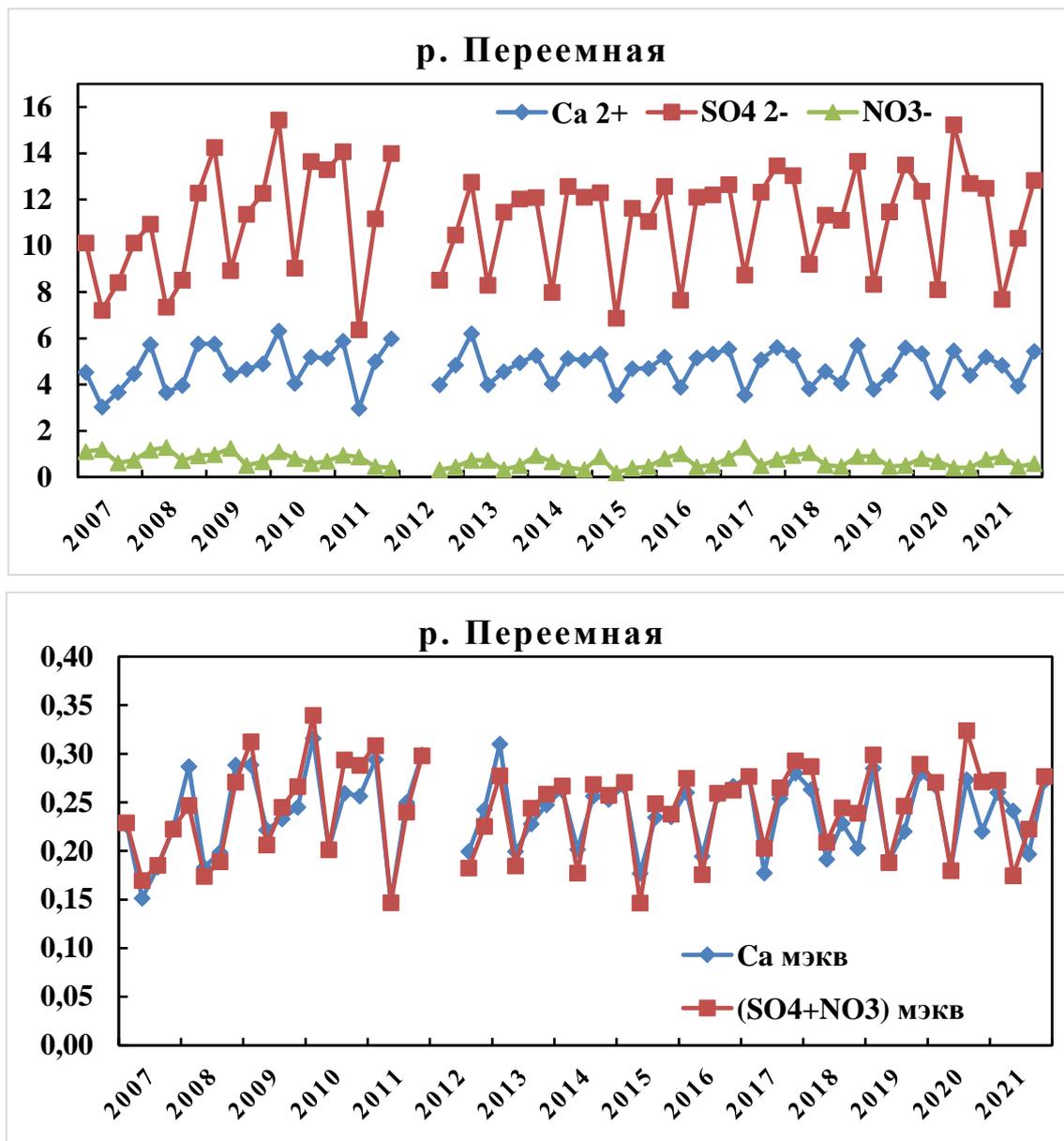


Рис.3.3.9 Динамика согласованного изменения сульфатов, нитратов и кальция (верхний, мг/л), и их эквивалентов (нижний, мэкв/л) в поверхностных водах р. Переемная в 2007–2021гг.

В целом по результатам фоновых наблюдений за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети EANET, в 2021 году для р. Комаровка (Приморье) наблюдалось резкое увеличение содержания основных ионов (SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+}) в осенний период. Также нарушился тренд увеличения кислотности, а среднегодовое значение pH составило

7,91 (при максимальном 8,40), что значительно выше среднего значения за весь период наблюдения. В связи с изменением предыдущих трендов для реки Комаровка, требуется дальнейшее наблюдение за концентрациями веществ в реке для определения наличия новых тенденций. Для р. Переменная уровни основных ионов в течение последних лет в целом сохраняются стабильными.

3.4. Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям

В 2021 г. фоновые гидробиологические наблюдения осуществлялись на 11 водных объектах, которые соответствуют концепции фоновых участков, из них 8 участков расположены на территории 4 государственных природных, в том числе биосферных, заповедников и их охранных зонах: Большехехцирский, Жигулевский, Лапландский, Усть-Ленский.

Баренцевский гидрографический район

Наблюдения в 2021 г. проводились Мурманским УГМС на фоновых участках 4 водных объектов: 3 рек и 1 озера.

Бассейн реки Туломы: р. Лотта (п. Светлый, устье). В составе фитопланктона встречено – 32 (в 2020 г. – 33 вида, в 2019 г. – 32 вида, в 2018 г. – 45 видов, в 2017 г. – 53, в 2016 г. – 33, в 2015 г. – 48, в 2014 г. – 38). Диатомовых водорослей встречено 11 видов, золотистых – 1, харовых – 8, синезеленых – 2, динофитовых – 4, зеленых – 6. На фоне олиготрофного диатомового комплекса в июне отмечали цианобактерии *Limnococcus limneticus*(α - β), в августе - хлорококковые *Eudorina elegans*(β). По параметрам развития фитопланктона соответствует 1-му классу (рис. 3.4.1).

В составе зоопланктона встречено 22 вида (в 2020 г. – 19 видов, в 2019 г. – 20, в 2018 г. – 18, в 2015 г. – 14), наибольшее видовое разнообразие принадлежало коловраткам – 12 и веслоногим ракам – 6, ветвистоусых раков встречено 4 вида. По-прежнему планктонная фауна носила ротаторно-клядоцерный характер. Коловратки *Kellicottia longispina* (β -олиго индикатор) и ветвистоусые *Bosmina longirostris* обладали наибольшей численностью. По биомассе доминировали крупные виды клядоцер виды-индикаторы олиго и олиго- β зон: *Simocephalus vetulus*, *Polyphemus pediculus*, *Bosmina longirostris* и *Acroperus harpae*. ротаторно-клядоцерный комплекс.

Зообентос реки насчитывал 9 видов (в 2020 г. - 11 видов; в 2019 г. – 18): 4 вида хирономид, 5 – олигохет. В июне доминировали хирономиды *Paratendipes albimanus* (β - α), формируя основу численности, в августе *Limnodrilus hoffmeisteri* (ρ). Также выявлены индикаторные виды *Tubifex tubifex* (ρ) и *Prodiamesa olivacea* (β - α). Значения индекса сапробности (далее – ИС) и биотического индекса (далее – БИ) в 2007–2021 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.1., 3.4.2.

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

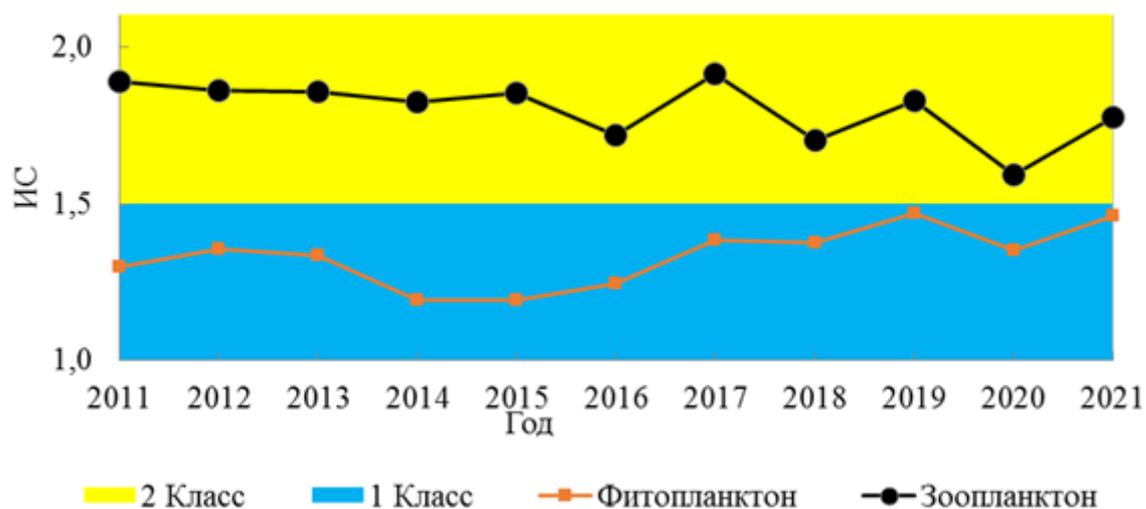


Рис. 3.4.1. Значение ИС в 2011–2021 гг., р. Лотта

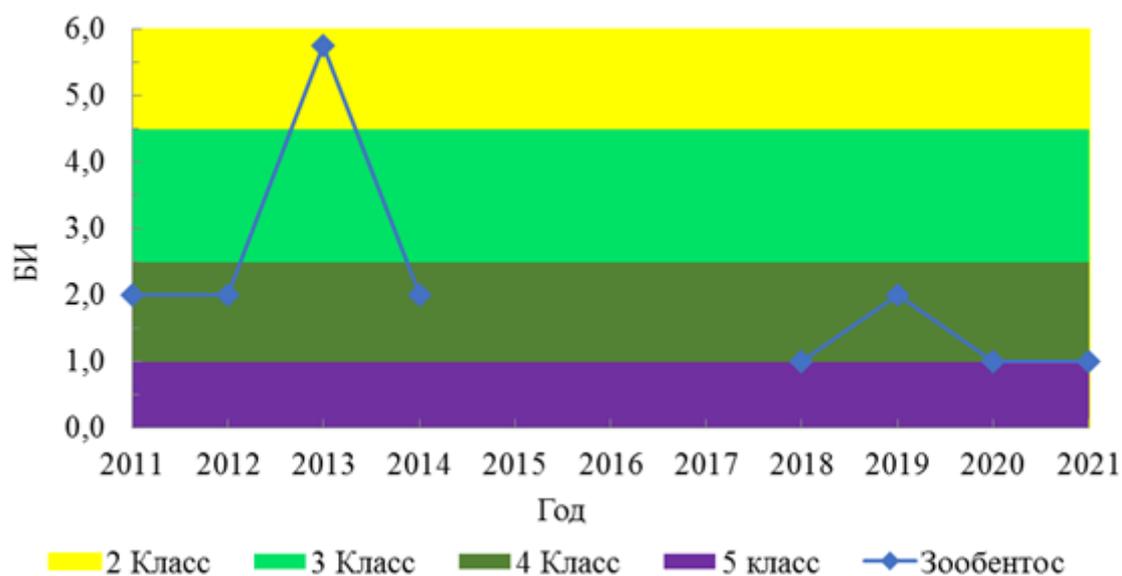


Рис. 3.4.2. Значение БИ в 2011–2021 гг., р. Лотта

Бассейн реки Колы: р. Кица (ст. Лопарская, устье). В составе фитопланктона встречено 45 видов (в 2020 г. – 58 видов, в 2019 г. – 30, в 2018 г. – 26, в 2017 г. – 33, в 2016 г. – 37, в 2015 г. – 48, в 2014 г. – 50), среди которых наибольшего распространения достигали диатомовые – 15 вид, зеленые – 10, харовые – 7, синезеленых встречено 4 вида, золотистых – 7 и динофитовых – 2. В летний период клетки цианобактерий достигали 53% от общей численности, так в июле доля *Coelosphaerium kiietzingianum* составляла 28 %. Как и в прошлом году альгофлора отличалась наибольшим разнообразием в период максимального прогрева воды – 26-28 таксонов в пробе. При этом крупные харовые водоросли формировали основу биомассы.

В зоопланктоне встречено 18 видов (в 2020 г. – 16 видов, в 2019 г. – 18), из них 8 – коловраток, 9 – ветвистоусых и 1 вид веслоногих ракообразных. Олигосапробные индикаторные рачки *Acroperus harpae* и *Alonopsis elongata* преобладали по численности и

биомассе, их доля достигала 22–26% ОЧ и 34–40% от общей биомассы пробы. Доминировали чувствительные к загрязнению виды-индикаторы (80,0 % ОЧ).

Зообентос реки насчитывал, как и в прошлом году 18 видов (в 2019 г. – 11), распределенных по 6 группам донных организмов: *Oligochaeta*, *Chironomidae*, *Trichoptera*, *Mollusca*, *Plecoptera* и *Coleoptera*.

Значения ИС и БИ в 2009–2021 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.3, 3.4.4. Экосистема р. Кица находится в состоянии экологического благополучия с чертами антропогенного экологического напряжения.

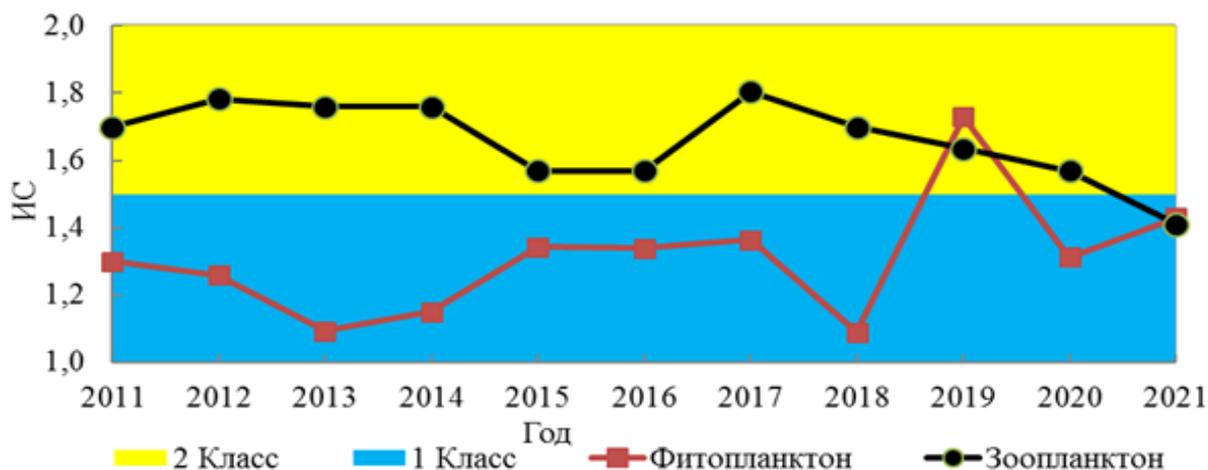


Рис. 3.4.3. Значение ИС в 2011–2021 гг., р. Кица.

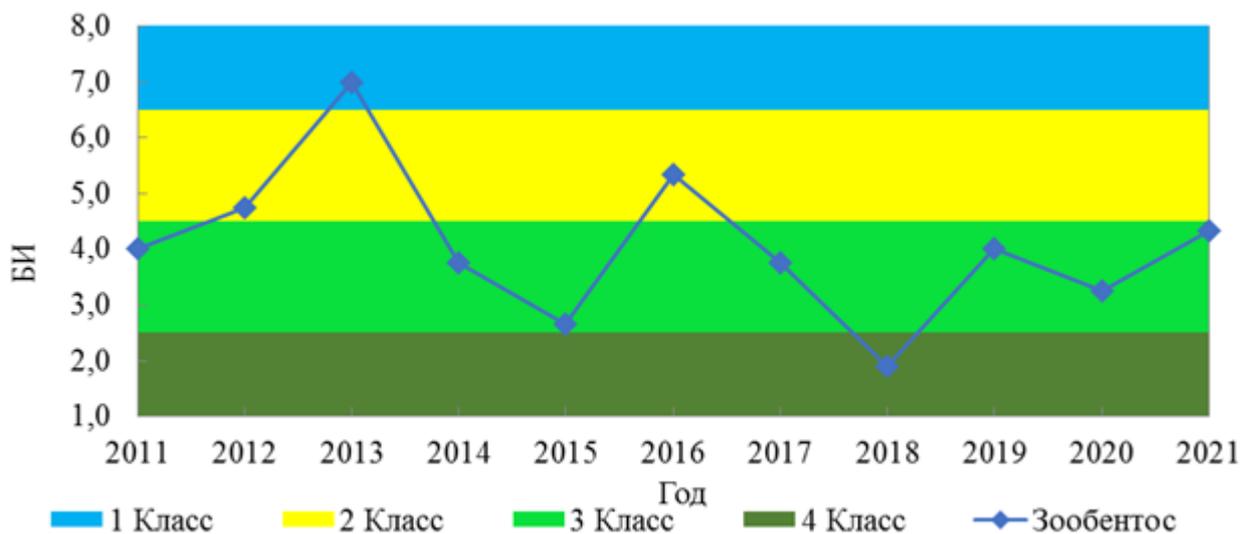


Рис. 3.4.4. Значение БИ в 2009–2021 гг., р. Кица.

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

В устье **р. Вите** в составе фитопланктона встречено 36 видов (в 2020 г. - 41 вид, в 2019 г.

– 32, в 2018 г. – 63) из них диатомовых – 14, золотистых – 4, харовых – 9, зеленых обнаружено 5, динофитовых – 3, синезеленых – 1. Разнообразие фитопланктона достигало 22 видов в пробе. Преобладали в общем количестве диатомовые и нитчатые зеленые водоросли, доля цианобактерий не превышала 14% ОЧ. Частота встречаемости видов-индикаторов чувствительных к загрязнению высокая.

В пробах зоопланктона обнаружено 29 видов (в 2020 г. – 23, в 2019 г. – 19), из них: 18 – *Rotifera*, 8 – *Cladocera* и 3 – *Copepoda*. Максимальные показатели общей численности и биомассы наблюдались в июле. Планктонная фауна реки носила ротаторно-клагоцерный характер. По численности доминировала разнообразная группа коловраток, которая составляла 80–82% от общей численности в пробе. По биомассе в июле преобладали ветвистоусые рачки (47% от общей биомассы), в августе – коловратки (46%). Веслоногие рачки представлены науплиальными и копеподитными стадиями, их доля в общей численности не превышала 6–7%. От 36 до 61% ОЧ занимал вид β -о *Kellicottia longispina*.

Зообентос представлен 21 видом донных беспозвоночных, среди которых 7 видов *Chironomidae*, по 4 – *Oligochaeta* и *Ephemeroptera*, 3 – *Plecoptera*, по 1 – *Simuliidae*, *Coleoptera* и *Trichoptera*. Биомасса значительно превышала прошлогодние значения и достигала пика в августе за счёт крупных индикаторных поденок *Heptagenia sulphurea* (β) и веснянок *Arcynopteryx compacta* (χ). Также отмечены виды-индикаторы, чувствительные к загрязнению: *Simulium* sp. (о- β), *Heptagenia fuscogrisea* (β), *Heptagenia coeruleans* (β), *Ecdyonurus affinis* (о- β), *Isoperla grammatica* (β) и *Hydroptila* sp. (β).

В пробах перифитона р. Вите обнаружено от 27 до 44 видов флоры и фауны. В июле отмечали самое большое разнообразие обрастателей. С показателем обилия 9 баллов доминировали личинки хирономид *Orthocladus* sp., виды веслоногих ракообразных *Euscyclops macrurus*, цианобактерии *Anabaena* sp., харовые нитчатые водоросли *Zygonema* sp и *Mougeotia* sp., диатомовые *Tabellaria flocculosa* и *T. fenestrata*. В августе перифитон был представлен исключительно водорослями. Массовыми были 21 (считаются виды с частотой встречаемости 5–9 баллов), из них 12 видов диатомей, 3 вида зеленых водорослей, 4 вида харовых и 2 синезелены. 8 массовых видов являлись чувствительными индикаторами сапробности χ – ксено, о – олиго или олиго – β зон.

Значения ИС и БИ в 2011–2021 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.5, 3.4.6. Экосистема р. Вите, находится в состоянии экологического благополучия с чертами антропогенного экологического напряжения.

Исток р. Нижней Чуны из оз. Чунозеро. Пункт наблюдений расположен у границы Лапландского биосферного заповедника, на р. Нижняя Чуна. Наблюдения проводили в июне и августе по показателям фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

В составе альгофлоры фонового створа встречено 38 видов (в 2020 г. – 34 вида, в 2019 г. – 46, в 2018 г. – 52 вида, в 2017 г. – 49, в 2016 г. – 42, в 2015 г. – 54, в 2014 г. – 55), наибольшее число видов принадлежит диатомовым – 19, зеленых встречено 6, синезеленых и золотистых по 4 вида, динофитовых – 3, харовых – 2. Пики в развитии альгофлоры в вегетационном сезоне не выявлены. В период наблюдения доминировали диатомовые водоросли. В конце июня и августа цианобактерии преобладали в общей численности (45–48%), но их доля в общей биомассе не

превышала 28%. Отмечали высокую частоту встречаемости чувствительных к загрязнению видов-индикаторов (ксено- и олигосапробы).

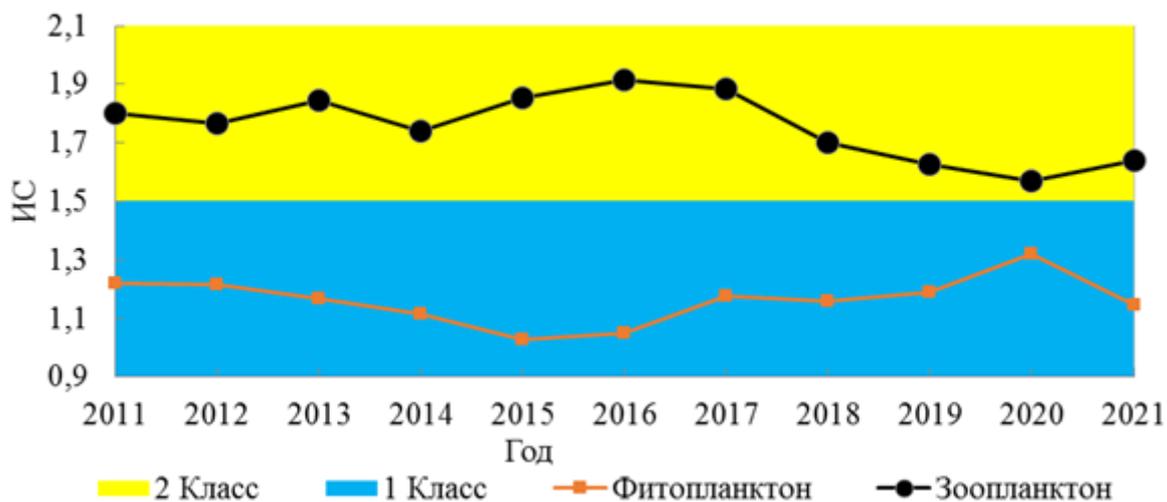


Рис. 3.4.5. Значение ИС в 2009–2021 гг., р. Вите.

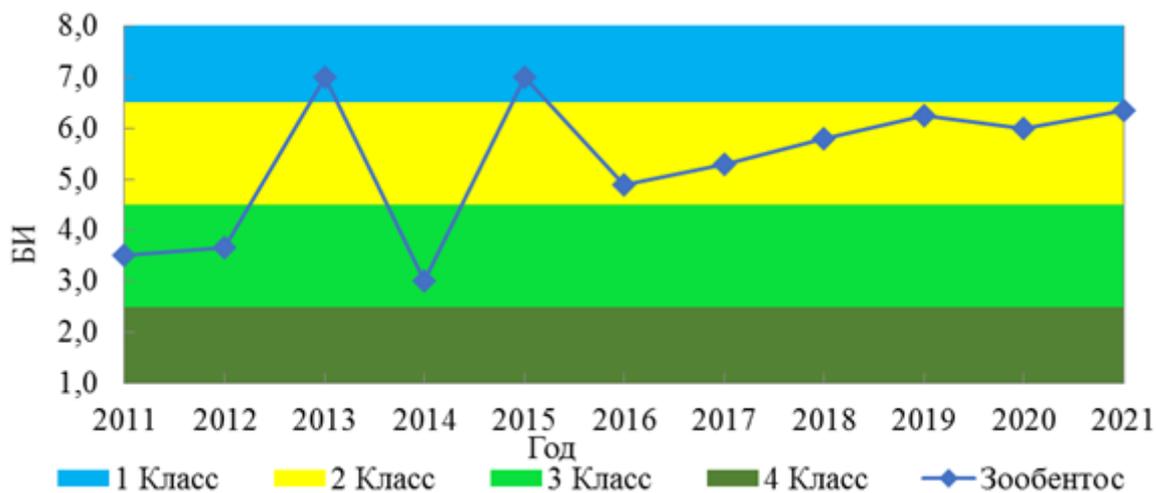


Рис. 3.4.6. Значение БИ в 2009–2021 гг., р. Вите.

В составе зоопланктона встречен 31 вид (в 2020 г. – 21 вид, в 2019 г. – 24, в 2018 г. – 18 видов, в 2017 г. – 20, в 2016 г. – 13, в 2015 г. – 24), из которых 9 видов коловраток, ветвистоусых раков – 16 и 6 – веслоногих раков. По-прежнему по численности доминировали *Kellicottia longispina* 33–76% от всех встреченных в пробе планктеров. Основную биомассу в июле формировали олигосапробные ветвистоусые *Alonopsis elongata* – 28% от общей биомассы, в августе крупные коловратки *Asplanchna girodi* 25% общей биомассы пробы. Науплии *Copepoda* достигали 32% в общей биомассе зоопланктона, что свидетельствует об экологическом благополучии.

В составе зообентоса встречено 20 видов (в 2020 г. – 9), относящихся к 8 группам донных беспозвоночных: малощетинковые черви (*Oligochaeta*), моллюски (*Mollusca*), личинки комаров звонцов (*Chironomidae*), комаров-болотниц (*Limnionidae*), комаров-долгоножек (*Tipulidae*), ручейников (*Trichoptera*), жуков (*Coleoptera*) и поденок (*Ephemeroptera*). В июне зообентос отличался благополучием: отмечали индикаторные группы Вудивисса и высокие

количественные значения общей численности и биомассы. Доминировали хирономиды, их численность составляла до 58% ОЧ, доля разнообразных олигохет не превышала 31 % от общей численности при этом индикаторы органического загрязнения *Limnodrilus hoffmeisteri* (ρ) составляли 2 % ОЧ. В другие периоды бентос обеднен, доля олигохет возрастала до 96% ОЧ. Полисапробные индикаторы *Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri* в сумме достигали 21% ОЧ. Во все периоды отмечали эвтрофные виды-индикаторы: *Polypedilum scalaenum* (β - α), *Stictochironomus crassiforceps* (α), *Tipula autumnalis* (o - ρ) и *Ecdyonurus affinis* (o - β).

Разнообразная флора и фауна перифитона насчитывает от 33 до 39 видов в пробе. В июне с частотой встречаемости 9 баллов отмечались χ -о сапробные индикаторные виды *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata* и харовые *Mougeotia sp.* Так же доминировали водоросли *Staurastrum sp.* и олигохеты *Enchytraeus albidus*. В июле и августе в массовую группу формировали 11 видов. В июле из них индикаторы сапробности: диатомовые *Tabellaria flocculosa* и *T.fenestrata*, *Diatoma tenuis*, *Gomphonema acuminatum*, *Amphora ovalis*, первичные консументы кладоцеры - *Alonopsis elongatus* ветвистоусые рачки размером 0,8 мм обычные для севера европейской части России. В августе отмечали те же виды диатомового комплекса: *Amphora ovalis*, *Gomphonema acuminatum*, *Tabellaria flocculosa*, *Tabellaria fenestrata* и нитчатые *Mougeotia sp.* Продуценты в перифитоне составляли 46–80%. Сообщество характеризуется относительным постоянством фонового видового состава и доминированием чувствительных видов-индикаторов олигосапробной и олиго- β мезасапробной зон. Встреченные 4 вида олигохет являлись толерантными к трофическому уровню, как и виды личинок хирономид.

Значения ИС и БИ в 2011–2021 гг., а также динамика изменения класса качества вод по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.7, 3.4.8.

Экосистема озера находится в состоянии перехода от экологического благополучия к состоянию антропогенного экологического напряжения.

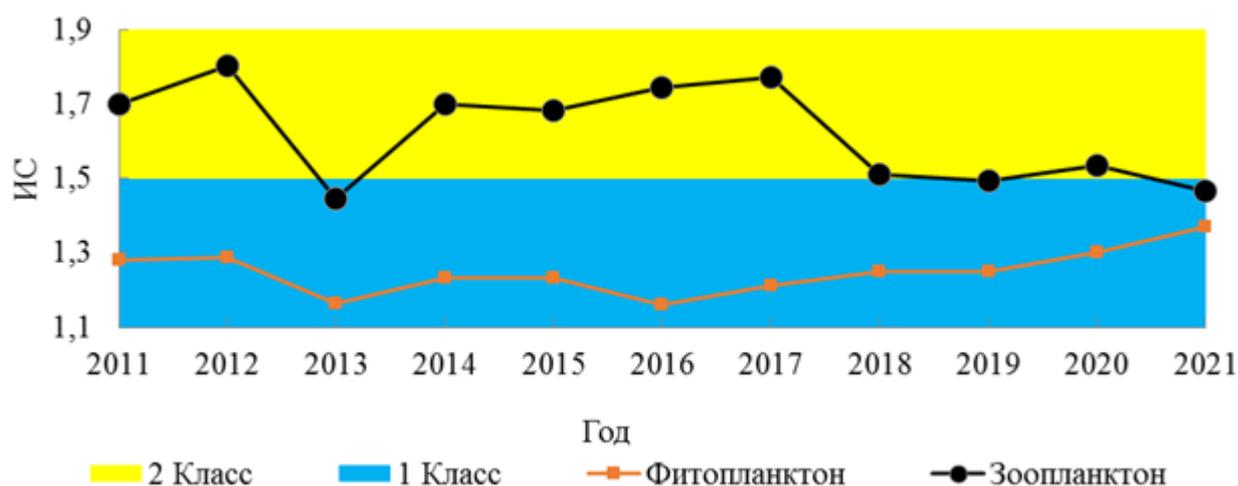


Рис. 3.4.7. Значение ИС в 2009–2021 гг., оз. Чунозеро

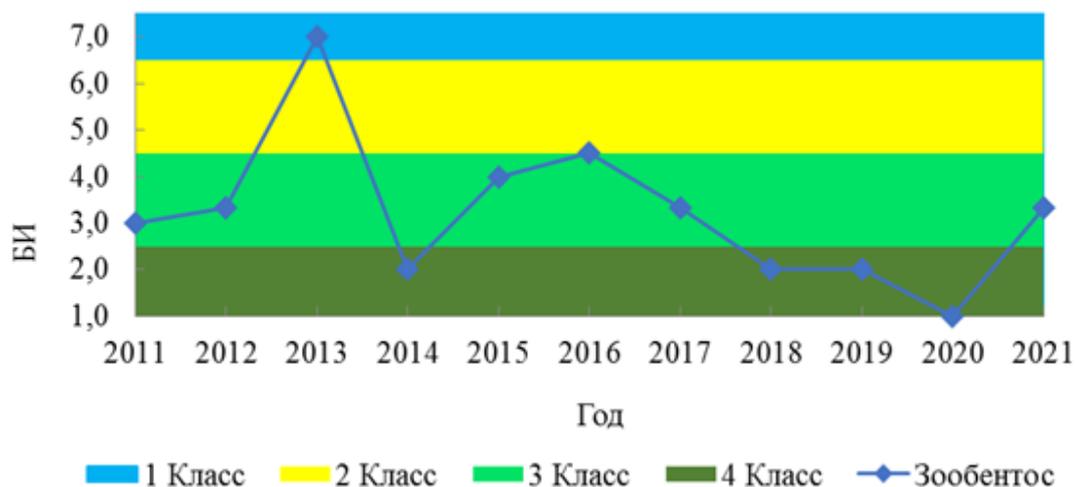


Рис. 3.4.8. Значение БИ в 2009–2021 гг., оз. Чуозеро

Балтийский гидрографический район

Наблюдения в 2021 г. проводились Северо-Западное УГМС на реке Шуя (Республика Карелия) по показателям макрозообентоса.

Бассейн Онежского озера: Река Шуя (нижнее течение и устье). В 2021 г. в составе зообентоса реки встречено 19 видов (в 2020 г. – 24, в 2019 г. – 28, 2018 г. – 33; 2017 г. – 20, в 2016 году – 7, в 2015 г. – 14), относящихся к 10 таксономическим группам. Из них максимального видового разнообразия достигали: *Chironomidae* и *Trichoptera* – по 4 вида, *Ephemeroptera* – 3 вида, *Odonata* – 2 вида *Oligochaeta*, *Hirudinea*, *Coleoptera*, *Heteroptera*, *Megaloptera*, *Mollusca* – по 1 виду. Видовое разнообразие в пробе варьировало от 2 до 5 видов.

Изменения значений БИ в 2014–2021 гг., а также принадлежность вод к классам качества по показателям макрозообентоса представлены на рисунке 3.4.9.

Экосистема реки находится в состоянии перехода от экологического благополучия к состоянию антропогенного экологического напряжения.

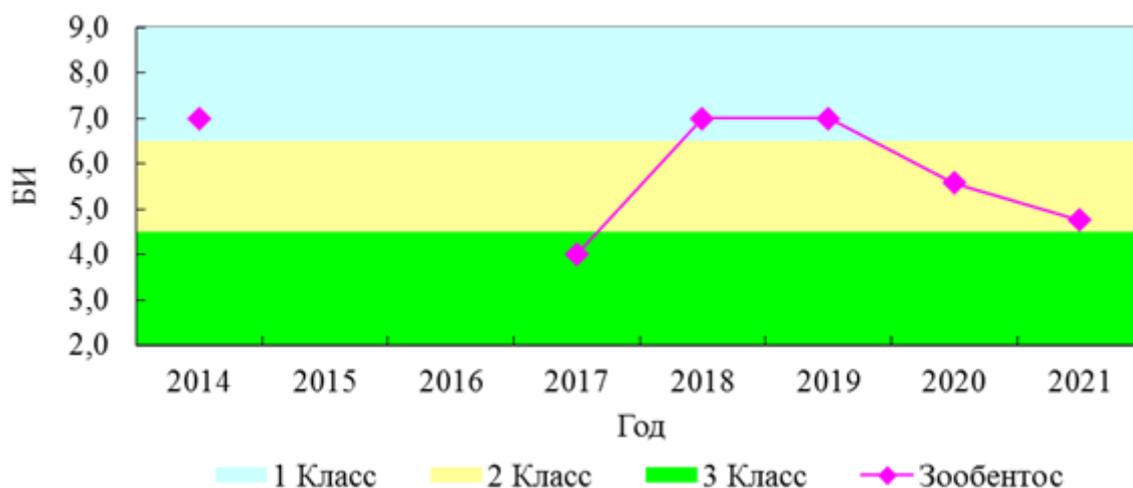


Рис. 3.4.9. Значение БИ в 2014–2021 гг., р. Шуя

Каспийский гидрографический район

В бассейне Средней Волги гидробиологический мониторинг за фоновыми объектами производился на территории Жигулевского биосферного заповедника.

Жигулевский биосферный заповедник, озеро Кольчужное. Мониторинг состояния экосистемы оз. Кольчужное проводится с 2017 г. по показателям фитопланктона, зоопланктона, перифитона и зообентоса.

Качественное разнообразие фитопланктона насчитывало 59 видов (62 вида в 2020 г.): диатомовые – 37, зеленые – 13, синезеленые и криптофитовые – по 4 вида. Доминировали весной криптофитовые водоросли и синезеленые, летом – диатомовые и синезеленые, осенью – синезеленые.

В сообществе перифитона в период наблюдений встречено 45 видов (2020 г. – 47, в 2019 г. – 41), из них зооперифитон представлен 2 видами, фитоперифитон – 43 видами. На всем протяжении наблюдений в перифитонном сообществе доминировали диатомовые и зеленые водоросли, наряду с ними преобладал летом один вид синезеленые. Из зооперифитона весной и летом присутствовали нематоды и хирономиды.

В зоопланктоне озера за период наблюдения обнаружен 41 вид (в 2020 г. – 31), из них: коловраток – 16, ветвистоусых ракообразных – 15, веслоногих – 10 (циклопид – 7, каляноид – 3). Преобладали в планктоне весной и летом коловратки, осенью кладоцеры.

В зообентосе отмечено 12 видов (в 2020 г. – 12, в 2019 г. – 7), из 6 групп: моллюски – 7, личинки хирономид, пиявки, олигохеты, ручейники, равноногие раки – по 1 виду. Доминировали весной и летом моллюски, осенью – хирономиды.

Экосистема находится в состоянии антропогенного напряжения.

Восточно-Сибирский гидрографический район

Дельта р. Лена. Фоновые наблюдения проводились в районе полярной станции Хабарова, у о. Столб – в границах государственного природного заповедника «Усть-Ленский». Для оценки были использованы показатели фитопланктона и зообентоса. Створ лежит в одном из рукавов дельтовой части реки Лена.

Фитопланктон р. Лена в створе о. Столб представлен 62 видами (в 2020 г. – 73 вида, в 2019 г. 61; в 2018 г. 66), среди которых, как и в створе с. Кюсюр, основу фитоценоза как в качественном, так и в количественном отношении формировали палеарктические диатомовые – 42 вида, зеленые – 15, синезеленые – 4 вида и жгутиковые – 1. Количественные показатели фитоценоза лежали в диапазоне многолетних наблюдений. Среднегодовые значения БИ и ИС в 2007–2021 гг. приведены на рисунках 3.4.10, 3.4.11.

Зообентос в 2021 г. представлен 23 видами донных беспозвоночных (в 2020 – 2018 гг. – по 21, в 2017 г. 20) короткоцикловым видом беспозвоночных, относящихся к 8 группам. Наибольшее видовое разнообразие принадлежит комарам-звонцам – 7 видов, малощетинковым червям – 4 вида и ручейникам – 3, подёнки, веснянки и двустворчатые моллюски представлены по 2 вида, бокоплавы и двукрылые – по 1. За 2015–2021 гг. качество воды по показателям зообентоса не изменились.

Качество воды в реке по гидробиологическим показателям находится на уровне многолетних значений. Сообщества макрозообентоса не формируются в связи с коротким вегетационным сезоном и экстремальными условиями обитания гидробионтов. В связи с этим

состояние экосистемы дельтовой части р. Лена следует рассматривать как экологическое благополучие.

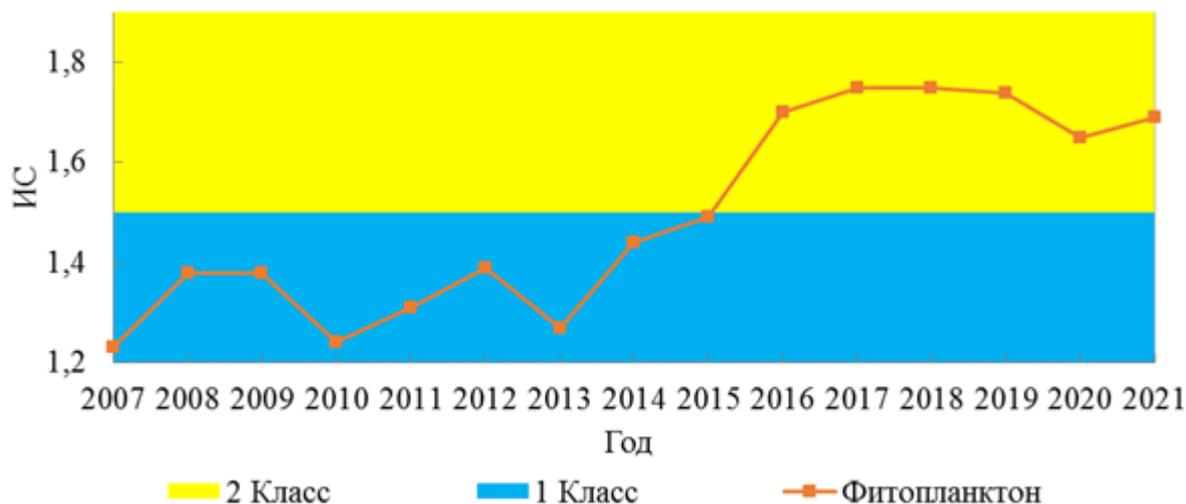


Рис. 3.4.10. Значения ИС в 2007–2021 гг., дельта р. Лена, полярная ст. Хабарова

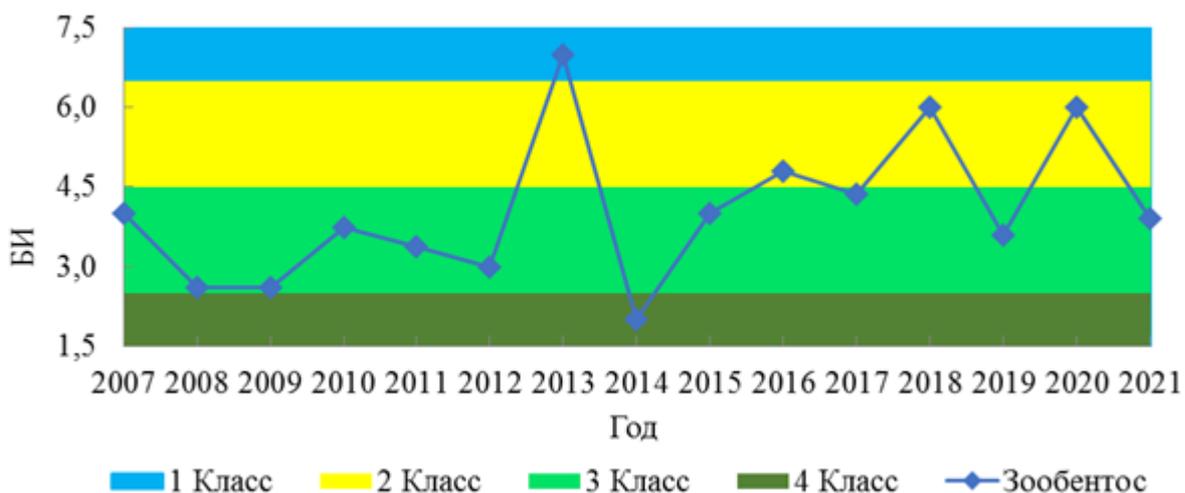


Рис. 3.4.11. Значения БИ в 2007–2021 гг., р.Лена ст.Хабарова

р. Копчик-Юреге (ст. Полярка). Наблюдения проведены по 2-м показателям: фитопланктон и зообентос.

В составе фитопланктона реки встречено 34 вида (25 видов в 2020 г., 34 вида в 2019 г.; 7 в 2018 г.; 21 в 2017 г.), основу фитоценоза как в качественном, так и в количественном отношении формировали палеаркты диатомовые – 25 вида, зеленые – 6, синезеленые – 2 вида и 1 вид жгутиковые. Количественные показатели фитоценоза лежали в диапазоне многолетних наблюдений. Среднегодовые значения БИ и ИС в 2007–2021 гг. приведены на рисунках 3.4.12, 3.4.13.

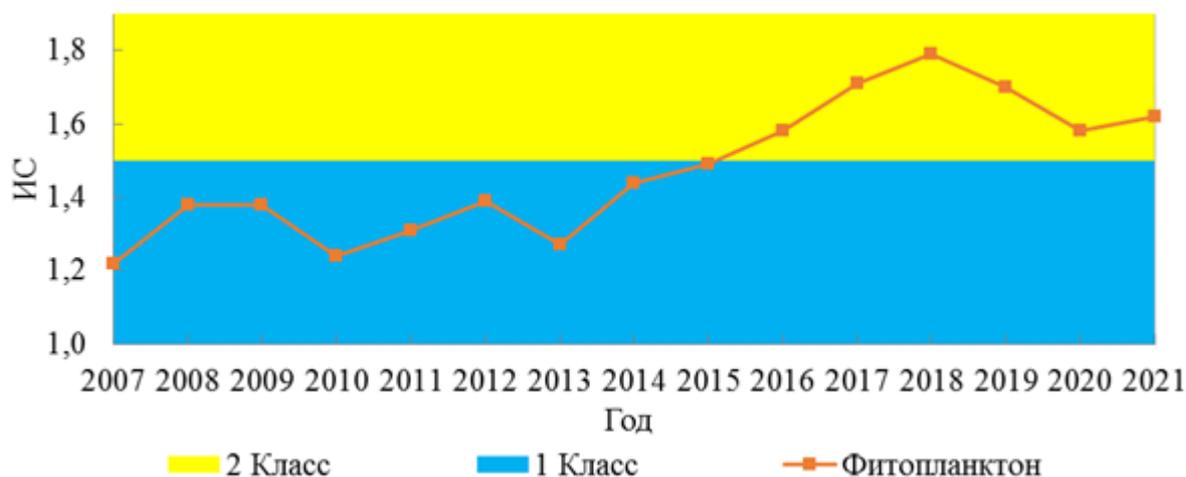


Рис. 3.4.12. Значения ИС в 2007–2021 гг., р. Копчик-Юреге

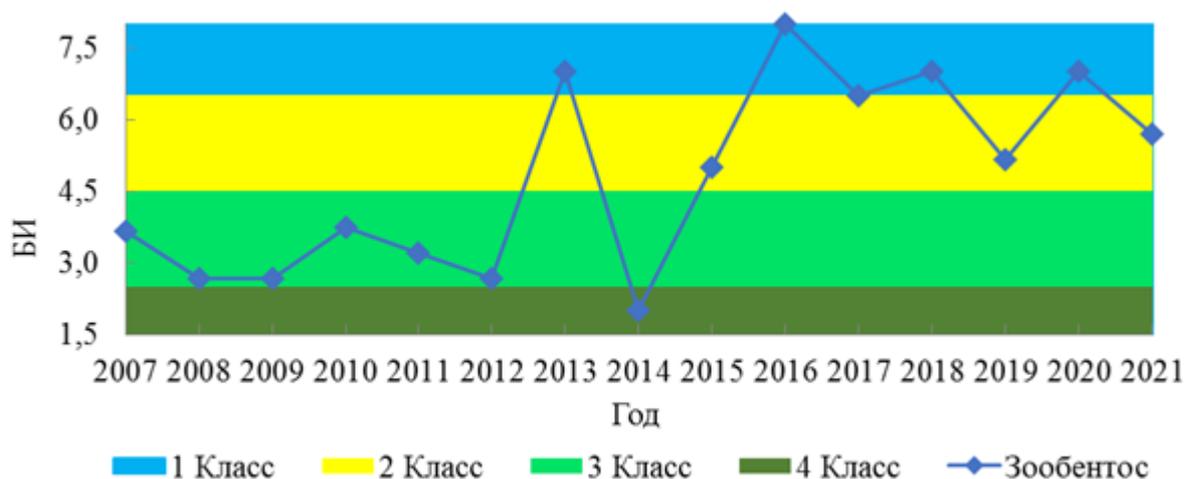


Рис. 3.4.13. Значения БИ в 2007–2021 гг., р. Копчик-Юреге

Население бентали, так же, как и в 2020 г. представлено 6-ю видами (7 видов в 2018 г.), среди которых веснянки, хирономиды и поденки – представлены равным числом видов по 2 в каждой группе. Количественные и качественные показатели зообентоса по сравнению с 2014–2020 гг. не изменились.

По наблюдаемым показателям состояние биоценоза р. Копчик-Юреге находится в состоянии экологического благополучия. Качественная и количественная бедность биоценозов обусловлена коротким вегетационным сезоном и низкой первичной продукцией водоема, именно по этой причине здесь распространены короткоциклового вида гидробионтов, в тоже время неоднородность сообществ определяется не столько антропогенными факторами, сколько критическими климатическими условиями природной среды.

Карский гидрографический район

Бассейн р. Енисей: Река Базаиха. Для оценки фонового состояния был исследован створ реки в 9 км выше устья, расположенный в охранной зоне национального парка «Красноярские столбы».

Качественный состав перифитона представлен 21 видом (в 2020 г. - 100 видами, в 2019 г. – 105; в 2018 г. – 103; 2017 г. – 102) принадлежащими к 3 систематическим группам. Видовое разнообразие перифитона р. Базаихи практически не изменилось по сравнению с предыдущими годами. В составе фитоперифитона зарегистрировано 21 вид из 3 систематических групп. В фитоперифитоне ведущее место занимали диатомовые (17 вида), зеленые – представлены 2 видами, синезеленые – 1.

Зоопланктон реки малочисленный, всего обнаружено 9 видов (в 2020 г. – 19 видов, в 2019 г. – 14; в 2018 г. – 7). Как и в большинстве рек региона, наибольшее видовое разнообразие среди зоопланктонного сообщества принадлежит коловраткам – 3 видов и веслоногим ракам – 4, среди ветвистоусых раков встречено 1 вида. Зоопланктон верхнего и нижнего участков беден и мало различается по видовому составу доминирующих видов. Сообщество представлено большей частью транзитными видами, так как высокая скорость течения затрудняет развитие автохтонного зоопланктона. По сравнению с предыдущими 2018–2020 гг. произошло снижение видового разнообразия зоопланктона. Биоразнообразие р. Базаиха ограничивалось единичными гидробионтами, в основном это были неполовозрелые копеподы и гарпактициды. Значения ИС в 2010–2020 гг. представлены на рисунке 3.4.14.

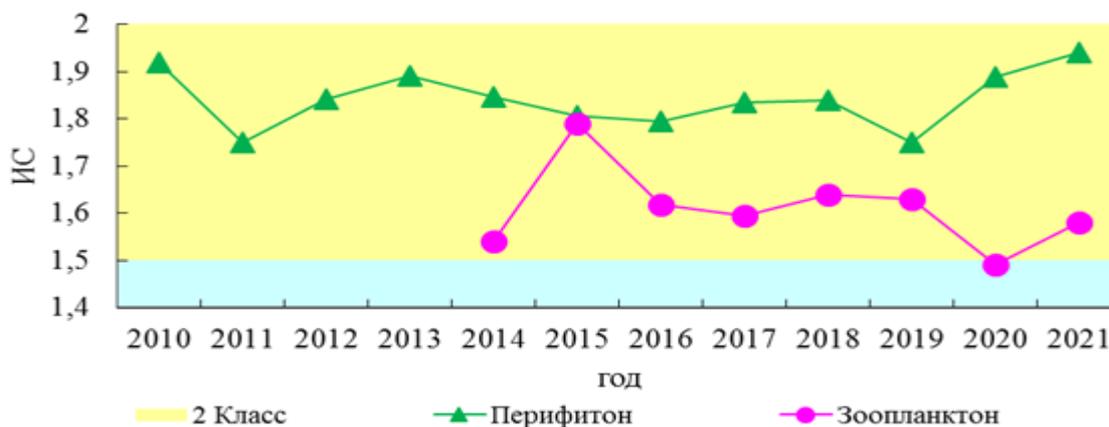


Рис. 3.4.14. Значения ИС в 2010–2021 гг., р. Базаиха

Зообентос представлен 53 видами донных беспозвоночных (в 2020 г. – 83, в 2019 г. – 88; в 2018 г. – 80; 2017 г. – 66) из 9 систематических групп. Наибольшее число видов приходилось на личинок хирономид – 15 видов, поденок – 12 и ручейников – 7 видов; наименьшее на двукрылых – 6, веснянок – 5 и олигохет, бокоплавов и жуков – по 2 вида, брюхоногие моллюски представлены одним видом. В пробах 2021 г. не были обнаружены пиявки и планарии.

Снижение общего видового богатства сообществ зоопланктона, перифитона и зообентоса связано с сокращением числа наблюдений в связи с приостановкой гидробиологического мониторинга в июле 2021 г. и не имеет экологических причин.

На станциях преобладали личинки двукрылых, поденок и ручейников, среди которых чаще других встречались β – мезосапробы. Основной вклад в биомассу донного сообщества реки вносили личинки ручейников *Ceratopsyche nevae*, *Stenopsyche marmorata*. Значения БИ в 2010–2021 гг. представлены на рисунке 3.4.15.

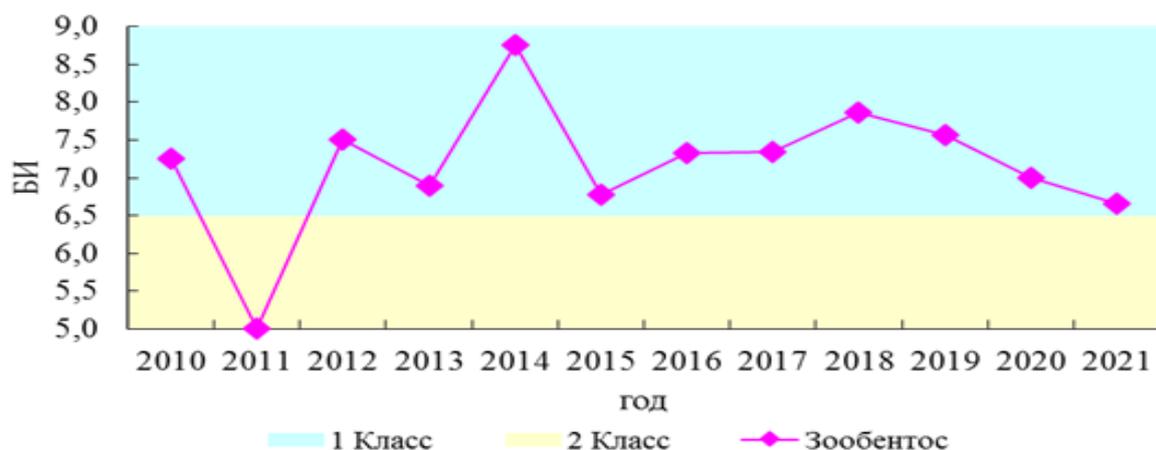


Рис. 3.4.15. Значения БИ в 2010–2021 гг., р. Базаиха

Экосистема реки находится в состоянии экологического благополучия, донные биоценозы в переходном состоянии от экологического благополучия к антропогенному экологическому напряжению.

Бассейн оз. Байкал, река Джиды.

В составе фитопланктона левого притока р. Селенга – р. Джиды встречено 45 видов (в 2020г. – 59, в 2019г. – 70, в 2018г. – 72), принадлежащих 2 отделам. Наибольшее видовое разнообразие принадлежало диатомовым водорослям – 40, зелёные представлены 5 видами. Доминировали диатомеи родов: *Symbella*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Nitzschia*, *Navicula*. Экологическое состояние вод водотока отражали ксено – бета, олиго – бета, бета – олиго, бета – мезосапробы, различного уровня трофности. Количественные показатели близки к прошлому году.

В 2021 г. в составе зоопланктона было встречено 19 видов (2020 г. – 13). Наибольшее видовое разнообразие принадлежало коловраткам (14 видов), а наименьшее веслоногим ракам (2 вида). Доминировали представители родов *Lophocharis* (46%), *Conochilus* (35%), *Lecane* (20%), *Trichocerca* (20%), *Notholca* (20%). Группа веслоногих ракообразных состояла из *Cyclops nauplii* и *Cyclops copropoda*.

В составе зообентоса встречено 9 видов (2020 г. – 14), представлены 6-ю таксономическими группами. Наиболее разнообразны в видовом отношении *Chironomidae* – 3 вида и *Ephemeroptera* – 2 вида. Единичными видами представлены: *Plecoptera*, *Simuliidae*, *Heteroptera* и *Coleoptera*.

Полученные количественные показатели значительно выше, чем в 2020 г., экологическое состояние улучшается. Значения индексов и соответствующего им классов качества вод в 2007–2020 гг. представлены на рисунке 3.4.16 и 3.4.17.

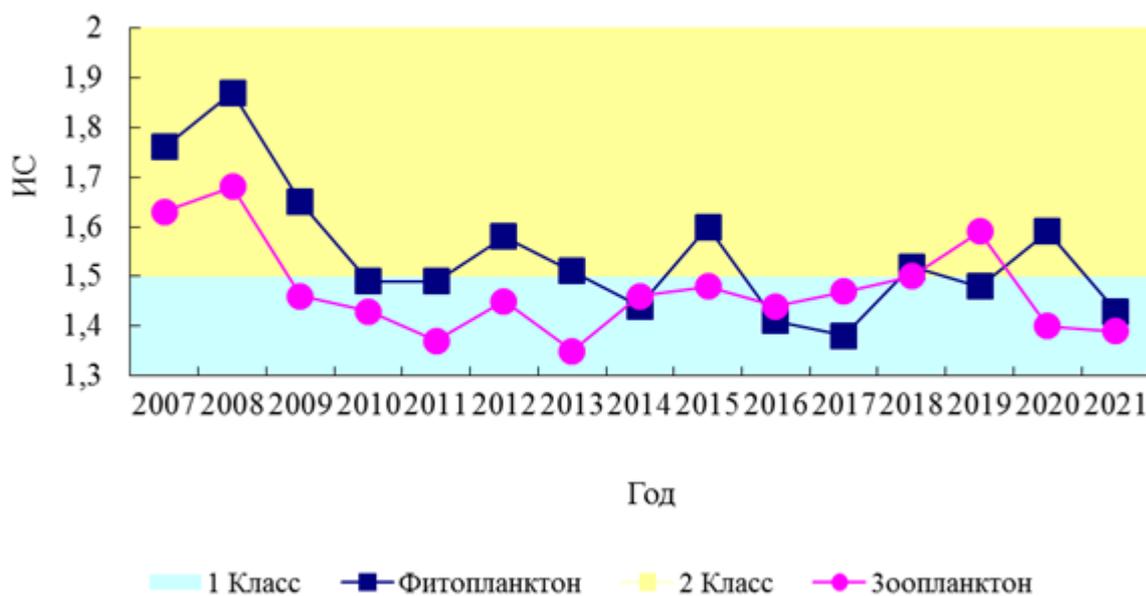


Рис. 3.4.16. Значения ИС в 2007–2021 гг. р. Джиды

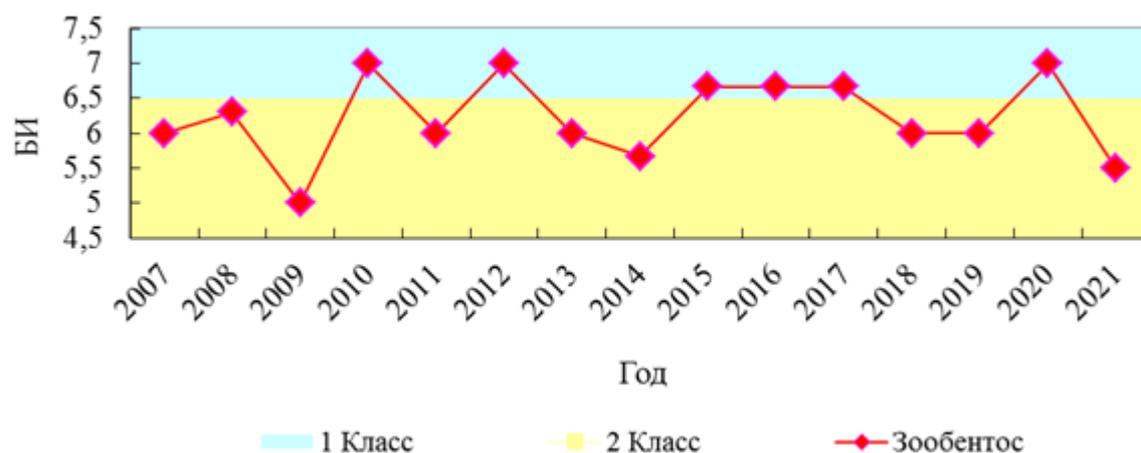


Рис. 3.4.17. Значения БИ в 2007–2021 гг. р. Джиды

Экосистема реки находится в состоянии экологического благополучия с элементами экологического напряжения.

Тихоокеанский гидрографический район

Река Чирка. Гидробиологические наблюдения за качеством вод р. Чирка, протекающей по территории Большехекцирского государственного природного заповедника, проводились в 2,7 км от с. Чирки, в 61 км от города Хабаровск.

В 2021 г. в составе зоопланктона р. Чирка в районе с. Чирки встречено 9 видов (в 2020 г. – 8 видов, в 2019 г. – 10), среди которых наибольшим видовым разнообразием представлены веслоногие ракообразные – 4 вида (44%) и коловратки – 3 вида (33%) веслоногих, ветвистоусых раков встречено – 2 вида (22%). Максимальные значения биомассы и численности зарегистрированы в августе. В период наблюдений в зоопланктоне р. Чирка, как и в предыдущие годы, преобладали виды-индикаторы α - β -мезосапробной зоны.

В составе зообентоса р. Чирка, встречено 5 видов, (в 2020 – 14 видов) принадлежащих к

3 отдела, среди которых к группе с высоким видовым разнообразием относились хирономиды – 3 вида (60%). Меньшим числом видов представлены группы: *Oligochaeta* и *Gastropoda* – по 1 виду. Основу численности макрозообентоса в р. Чирка формировали хирономиды (60%), а основу биомассы – моллюски (97%). Число видов в пробе варьировало от 1 до 3.

Значения ИС и БИ в 2015–2021 гг. представлены на рисунке 3.4.18.

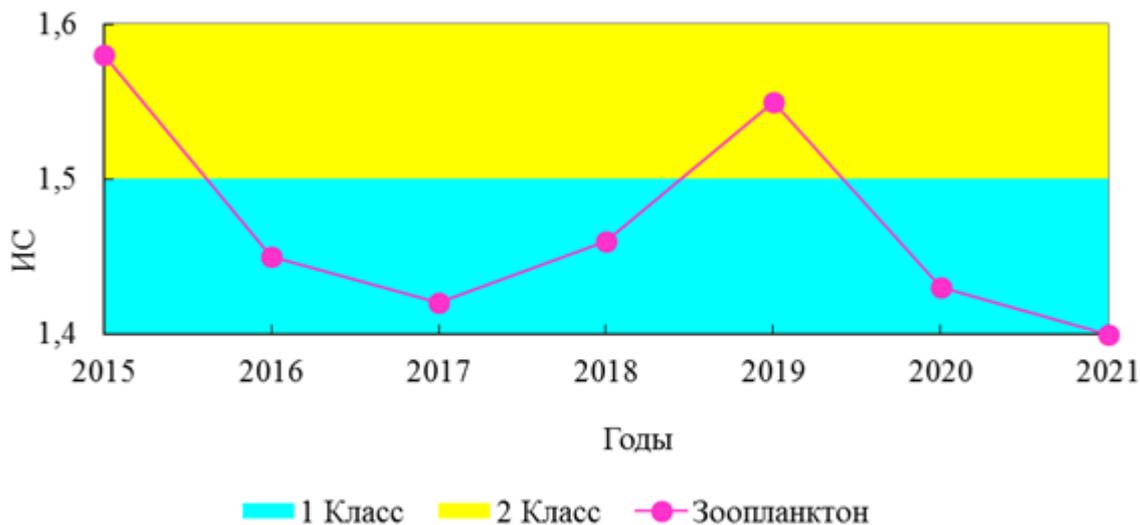


Рис.3.4.18. Значения ИС в 2015–2021 гг., р. Чирка

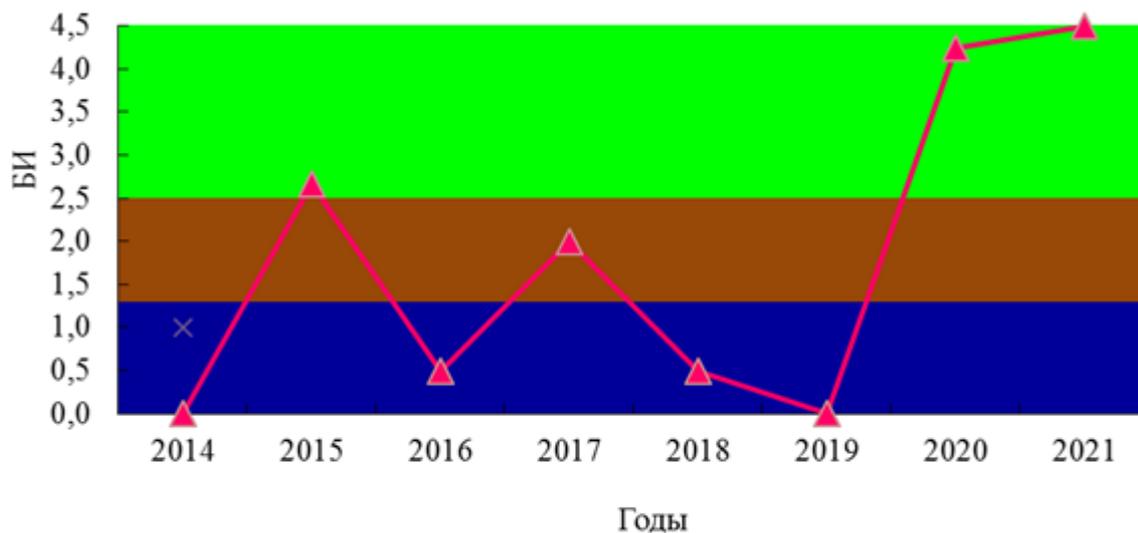


Рис. 3.4.19. Значения БИ в 2014-2021 гг., р.Чирка, с. Чирки

Экосистема находится в состоянии антропогенного экологического напряжения.

Заключение

Таким образом, в Баренцевском, Балтийском, Карском и Восточно-Сибирском и Тихоокеанском гидрографических районах на всех 11 фоновых участках, выбранных водных

объектов экосистемы в 2013–2021 гг. не претерпели больших изменений, вариации состава сообществ лежали в пределах одного класса качества вод.

Состояние экологического благополучия характерно для 7 из 13 фоновых участков: рек Лотта, Витте и Нижняя Чуна (Лапландский БЗ) в Баренцевском гидрографическом районе, р. Джида бассейна оз. Байкал в Карском гидрографическом районе, дельты р. Лена (БЗ «Усть-Ленский») и в р. Копчик-Юреге в Восточно-Сибирском гидрографическом районе. Из них только в 2-х наблюдаемых фоновых пунктах р. Лена и р. Копчик-Юреге не выявлены признаки антропогенного воздействия. В остальных фоновых объектах присутствуют различной степени признаки антропогенного экологического напряжения экосистем.

4. МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ

4.1 Березинский биосферный заповедник (Республика Беларусь)

Мониторинг атмосферного воздуха на станции фонового мониторинга Березинский заповедник организован с целью получения информации о региональном фоновом состоянии окружающей природной среды.

Атмосферный воздух.

По результатам стационарных наблюдений, в 2021 г. содержание в атмосферном воздухе большинства определяемых загрязняющих веществ существенно не изменилось.

Согласно рассчитанным значениям индекса качества атмосферного воздуха, состояние воздуха в 2021 г. оценивалось, в основном, как очень хорошее, хорошее и умеренное, доля периодов с удовлетворительным уровнем загрязнения атмосферного воздуха была незначительна (эти периоды были связаны с увеличением содержания в воздухе приземного озона). Периоды с плохим и очень плохим уровнями загрязнения атмосферного воздуха отсутствовали (рис. 4.1.1). По сравнению с 2020 г. незначительно сократилась доля периодов с умеренным уровнем загрязнения воздуха приземным озоном.

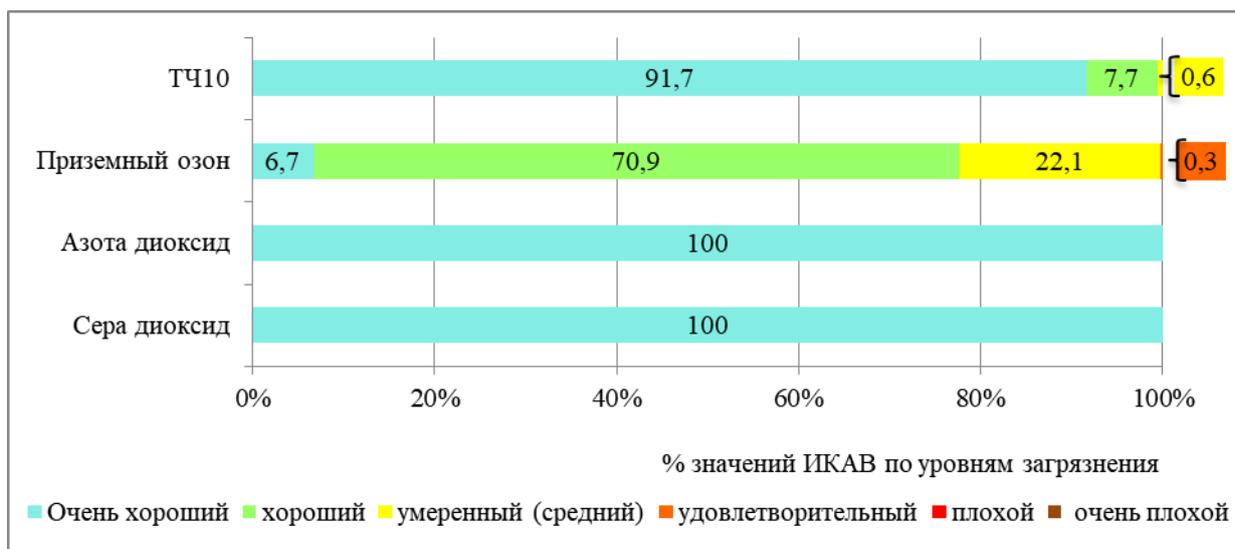


Рис. 4.1.1. Распределение значений ИКАВ (%) в 2021 г. на СФМ в Березинском заповеднике

Сера диоксид. По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация серы диоксида составляла $2,4 \text{ мкг/м}^3$ (0,05 ПДК) и была ниже, чем в 2020 г. Максимальная среднесуточная концентрация $7,3 \text{ мкг/м}^3$ (0,04 ПДК) зафиксирована 11 апреля. Сезонные изменения содержания в воздухе серы диоксида не имели ярко выраженного характера.

Азота диоксид. Среднегодовая фоновая концентрация азота диоксида составляла $4,6 \text{ мкг/м}^3$ (0,12 ПДК) и была незначительно выше, чем в 2020 г. Максимальная среднесуточная концентрация 0,16 ПДК зафиксирована 21 января. Значения среднемесячных концентраций азота диоксида находились практически на одинаковом уровне, некоторое увеличение содер-

жания азота диоксида наблюдалось в январе и декабре.

Азота оксид. Среднегодовая фоновая концентрация азота оксида составляла 1,4 мкг/м³ (0,01 ПДК) и была незначительно ниже, чем в 2020 г. Максимальная среднесуточная концентрация также была существенно ниже норматива ПДК и составляла 0,01 ПДК. Значения среднемесячных концентраций находились на одинаковом уровне, некоторое увеличение содержания азота оксида наблюдалось в ноябре – декабре.

Сульфат-ион. Среднегодовая фоновая концентрация сульфат-иона составляла 0,99 мкг/м³ и была несколько ниже, чем в 2020 г. Минимальное содержание сульфат-иона в атмосферном воздухе зафиксировано в сентябре (0,41 мкг/м³), максимальное содержание (1,85 мкг/м³) – в феврале. Максимальная среднесуточная концентрация сульфат-иона составляла 5,95 мкг/м³ (22 февраля).

Твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль). Среднегодовая фоновая концентрация твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) составляла 13 мкг/м³ и по сравнению с 2020 г. снизилась на 13 %. 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 июне, минимальное содержание – в декабре (рисунок 4.1.2). Максимальная среднесуточная концентрация твердых частиц зафиксирована 23 июня и составляла 87,3 мкг/м³ (0,6 ПДК).

За последние 10 лет среднегодовые фоновые концентрации твердых частиц сохранялись практически на одном уровне (отклонения не превышали ± 14%). Исключением явился 2014 г., который характеризовался дефицитом осадков (в среднем по стране выпало 86 % климатической нормы).



Рис. 4.1.2 – Внутригодовое распределение концентраций твердых частиц в атмосферном воздухе Березинского заповедника 2021 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, как и в 2020 г., составляла 0,3 ПДК. Количество дней со среднесуточными концентрациями выше 25

мкг/м³ (0,5 ПДК) составляло 4,8 % (в 2019 г. и 2020 г. – 3,2 % и 6,8 % соответственно). Увеличение уровня загрязнения воздуха ТЧ10 было отмечено в июне (рис. 4.1.2). Одной из предполагаемых причин роста концентраций твердых частиц являлся трансграничный перенос на дальние расстояния (пыль пустыни Сахара) (по информации Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси). Среднесуточная концентрация ТЧ10 22 июня достигала 1,7 ПДК, 23 июня – 1,4 ПДК.

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 в январе – марте варьировались в диапазоне 0,48 – 0,78 нг/м³, в октябре – декабре – 0,58 – 0,83 нг/м³.

Бензол. Содержание в воздухе бензола было по-прежнему значительно ниже норматива ПДК. Максимальная среднесуточная концентрация бензола 0,4 мкг/м³ (0,01 ПДК) зафиксирована 24 августа.

Приземный озон. По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация приземного озона составляла 55 мкг/м³ (в 2020 г. – 58 мкг/м³). В годовом ходе увеличение содержания в воздухе приземного озона отмечено в апреле – мае. Среднесуточные концентрации приземного озона превышали норматив ПДК в течение 5 дней (в 2020 г. – в течение 8 дней). Максимальная среднесуточная концентрация приземного озона зафиксирована 12 апреля и составляла 1,2 ПДК.

Углерода диоксид. Среднегодовая фоновая концентрация углерода диоксида составляла 864 мг/м³ и была незначительно ниже, чем в 2020 г. (879 мг/м³). Максимальные среднемесячные значения (880 мг/м³) отмечены в феврале и августе, минимальное значение (814 мг/м³) – в сентябре. Среднесуточные концентрации варьировались в широком диапазоне: от 529 мг/м³ до 1066 мг/м³. По данным непрерывных измерений, среднегодовые концентрации углерода диоксида в 2010 – 2021 гг. варьировались в диапазоне от 789 мг/м³ до 879 мг/м³.

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 этом году обмен информацией возобновился. Характеристика загрязнения природных сред в районе расположения СКФМ «Боровое» дается согласно «Информационному бюллетеню о состоянии окружающей среды на территории Республики Казахстан за 2020» и «Информационному бюллетеню о состоянии окружающей среды на территории Республики Казахстан за 2021 год», подготовленных департаментом экологического мониторинга РГП «Казгидромет». 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 и 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.

Средние и максимально-разовые концентрации загрязняющих веществ не превышали ПДК (таблица 4.2.1). Случаи высокого загрязнения (ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) атмосферного воздуха не обнаружены.

Таблица 4.2.1. Характеристика загрязнения атмосферного воздуха на СКФМ «Боровое» в 2020 г.

Примесь	Средняя концентрация (гс.с.)		Максимальная разовая концентрация (гм.р.)		Число случаев превышения ПДКм.р.		
	мг/м ³	Кратность ПДКс.с.	мг/м ³	Кратность ПДКм.р.	>ПДК	>5 ПДК	>10 ПДК
Взвешенные частицы РМ-2,5	0,03	0,84	0,15	0,94			
Взвешенные частицы РМ-10	0,03	0,50	0,19	0,63			
Диоксид серы	0,01	0,24	0,22	0,45			
Оксид углерода	0,37	0,12	4,88	0,98			
Диоксид азота	0,01	0,15	0,16	0,80			
Оксид азота	0,00003	0,0004	0,13	0,32			
Озон (приземный)	0,01	0,22	0,08	0,49			
Аммиак	0,01	0,27	0,17	0,85			
Сероводород	0,0003		0,01	0,98			

Химический состав атмосферных осадков

Наблюдение за химическим составом атмосферных осадков на территории Акмолинской области заключались в отборе проб дождевой воды на 4 метеостанциях (Астана, Щучинск, СКФМ «Боровое», Бурабай).

Концентрации всех определяемых загрязняющих веществ осадках не превышали предельно допустимые концентрации (ПДК).

В пробах преобладало содержание сульфатов 34,4%, хлоридов 14,0%, гидрокарбонатов 20,2%, ионов натрия 10,5%, ионов кальция 8,8%, ионов калия 6,4%.

Наибольшая общая минерализация отмечена на МС СКФМ «Боровое» – 58,4 мг/л, наименьшая – 30,5 мг/л на МС Щучинск. В 2021 г. наименьшая минерализация на всех станциях Республики Казахстан наблюдалась на МС Бурабай (Акмолинская) – 14,89 мг/л.

Удельная электропроводимость атмосферных осадков находилась в пределах от 24,2 мкСм/см (МС Бурабай) до 53,0 мкСм/см (МС Астана).

Кислотность выпавших осадков находится в пределах от 4,0 (МС СКФМ «Боровое») до 4,5 (МС Астана).

Загрязнение почв

За весенний период в пробах почвы, отобранных на станции комплексного фоновое мониторинга «Боровое» (СКФМ «Боровое») содержания цинка составила 0,0061 мг/кг, меди – 0,0056 мг/кг, свинца – 0,0022 мг/кг, хрома – 0,0366 мг/кг, кадмия – 0,0166 мг/кг.

В пробах почвы отобранных в поселке Бурабай содержание цинка составило 0,0028-0,0077 мг/кг, меди – 0,0050-0,0066 мг/кг, свинца – 0,0021- 0,0036 мг/кг, хрома – 0,0172-0,0530 мг/кг, кадмия – 0,0042-0,1379 мг/кг. Содержание остальных определяемых тяжелых металлов в поселке Бурабай находились в пределах нормы.

За осенний период в пробах почвы, отобранных на станции комплексного фоновое мониторинга «Боровое» (СКФМ «Боровое») содержания цинка составила 0,96 мг/кг, меди – 7,4 мг/кг, свинца – 0,1 мг/кг, хрома – 0,002 мг/кг, кадмия – 0,1 мг/кг. Превышение предельно-допустимых концентраций отмечено по меди – 2,5 ПДК.

В пробах почвы отобранных в поселке Бурабай содержание цинка составило 0,01-1,1 мг/кг, меди – 2,2-7,4 мг/кг, свинца – 0,1-0,3 мг/кг, хрома – 0,002-0,01 мг/кг, кадмия – 0,02-2,1 мг/кг. Превышение предельно-допустимых концентраций отмечено в районах: кольцевой дороги Боровое-Щучинск и ул. Кенесары, 45 (офис ГНПП «Бурабай») по меди – 2,3 ПДК; поляны им. Абылай хана по меди – 2,0 ПДК. Содержание остальных тяжелых металлов в поселке Бурабай находились в пределах нормы.

Поверхностные воды

В озере Щучье температура воды отмечена на уровне 0-25,0°С, водородный показатель 7,47-8,45, концентрация растворенного в воде кислорода – 7,24-11,19 мг/дм³, БПК₅ – 0,23-2,68 мг/дм³, ХПК – 12-63 мг/дм³, взвешенные вещества – 3,2-15 мг/дм³, минерализация – 335-468 мг/дм³, цветность - 5–10 градусов; запах – 0 баллов.

Донные отложения

В пробах донных отложений, отобранных в оз. Щучье, концентрации кадмия в среднем составляет 0,57 мг/кг, никеля – 21,22 мг/кг, свинца – 19,71 мг/кг, меди – 13,71 мг/кг, хрома – 8,28 мг/кг, мышьяка – 4,36 мг/кг, марганца – 40,68 мг/кг. Результаты анализа донных отложений на озерах Щучинско-Боровской курортной зоны представлены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 Результаты анализа донных отложений на озерах Щучинско-Боровской курортной зоны

№	Место отбора	Концентрация кислоторастворимых форм металлов, мг/кг						
		Cd	Ni	Pb	Cu	Cr	As	Mn
1	оз. Катарколь 1/1 СВ	0,485	38,04	12,43	17,54	5,07	1,26	30,60
2	оз. Катарколь 1/2 З	0,408	38,67	16,34	19,15	5,15	1,59	36,03
3	оз. Щучье 2/1 З	0,529	27,24	27,43	28,79	10,55	6,36	33,57
4	оз. Щучье 2/2 ЮЗ	0,423	31,42	14,12	15,14	11,74	7,32	39,52
5	оз. Щучье 2/3 С	0,74	12,11	15,46	8,26	8,11	2,80	34,06
6	оз. Щучье 2/4 В	0,599	14,12	21,81	2,65	2,73	0,96	55,56

5. ФОНОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РЕГИОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ.

Чистота вод озера Байкал и состояние других элементов его экосистемы всегда привлекали внимание российской и мировой общественности. В 1996 году озеро и непосредственно примыкающие к нему территории были включены в Список Участков Всемирного Природного Наследия Юнеско, а в 1999 году был принят Закон РФ «Об охране озера Байкал». Карта озера Байкал с объектами, рассматриваемыми далее в тексте показана на рис 5.1.



Рис. 5.1. Объекты мониторинга озера Байкал

Исследования состояния загрязнения озера Байкал и примыкающей к нему территории ФГБУ «ИГКЭ» (тогда ещё в составе ИПГ, а позднее ЛАМ) начались с конца 1970-х годов с участия совместных судовых экспедиций в летний период и комплексных вертолетных снегомерных исследований – в зимнее.

С целью комплексной оценки состояния загрязнения всех основных природных сред в регионе озера Байкал и изучения многолетней динамики его изменения, в 1982 году на территории Баргузинского БЗ в районе поселка Давша была организована станция комплексного фоновое мониторинга (КФМ). Наблюдения проводились по типовой программе и проводились непрерывно в течение 16 лет до 1998 года. Причиной закрытия станции КФМ послужило прекращение энергоснабжение поселка Давша и вынужденное переселение всех жителей в более доступные для организации проживания районы.

В таблице 5.1 представлена изменчивость среднегодовых концентраций всех изучаемых

загрязняющих веществ во всех контролируемых природных средах в районе станции КФМ Баргузинского БЗ за период 1983 – 98 гг., а на рис. 5.2 - многолетняя динамика изменения концентрации в атмосферном воздухе диоксида серы и свинца в сравнении с результатами наблюдений на станциях КФМ Боровое и Березинский БЗ.

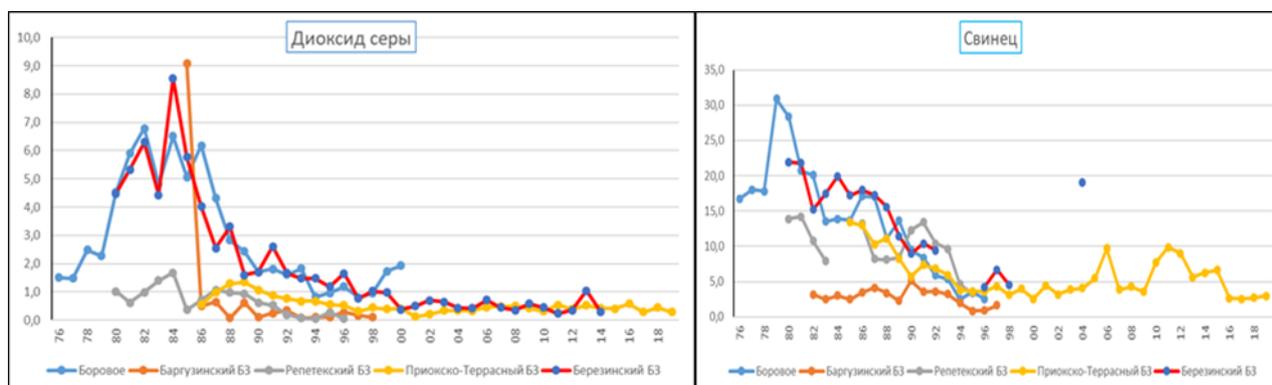


Рис. 5.2. Многолетняя динамика изменения концентраций в воздухе диоксида серы (мкг/м^3) и свинца (нг/м^3) на станциях КФМ.

Из рисунка видно, что многолетние динамики изменения концентраций всех рассматриваемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на разных станциях КФМ близки, а уровни концентраций, в целом, уменьшаются с запада на восток, в соответствии с уровнями промышленного развития территорий. Наименьшие значения концентраций отмечаются на территории Баргузинского БЗ.

Таблица 5.1. Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, осадках, поверхностных водах, почве и растительности на территории Баргузинского БЗ по данным станции КФМ за период 1983-98 гг. (диапазоны изменения и средние значения).

Измеряемое вещество	Атмосферный воздух	Атмосферные осадки	Поверхностные воды (х)	Почва (хх)	Луговое разнотравье (хх)
<i>Ед. измерения</i>	<i>мкг/м³</i>	<i>мкг/л</i>	<i>мкг/л</i>	<i>мкг/г</i>	<i>мкг/г</i>
Диоксид серы	0,07-0,5/0,19	-	-	-	-
Сульфаты	0,66-2,1/1,33	4,0-4,8/4,3	-	-	-
Взвешенные частицы	11,5-23/17,3	-	-	-	-
Ртуть	1,9-14/6,0	0,24-2,8/0,93	0,16-4,4/1,2	0,01-0,2/0,07	0,01-0,2/0,07
Свинец,	0,8-5,2/206	0,88-4,7/2,59	0,25-3,5/1,9	0,5-25/8,3	0,1-15/2,5
Кадмий	0,02-0,6/0,06	0,07-0,65/0,24	0,01-0,6/0,17	0,01-0,5/0,18	0,01-2,0/0,3
<i>Ед. измерения</i>	<i>нг/м³</i>	<i>нг/л</i>	<i>нг/л</i>	<i>нг/г</i>	<i>нг/г</i>
ΣДДТ	0,04-0,9/0,19	7,6-737/125	1,6-113/17,6	1,6-29,9/9,6	5,9-55,9/15,7
Гамма-ГХЦГ	0,01-0,3/0,04	1,0-32/8,7	0,01-86,6/24,3	0,20-7,9/4,0	0,12-9,8/3,3
3,4-БП	0,002-0,1/0,04	0,1-14/5,1	0,05-8,3/2,9	0,45	-

(х) – результаты отбора проб в реках Давша, Большая и Давшинском заливе оз. Байкал.

(хх) – результаты отбора проб в 5 точках вдоль рек Давша и Большая (от устья до истока)

Анализ данных, представленных в таблице 5.1, в сравнении с результатами наблюдений на других станциях КФМ, показывает, что во всех контролируемых природных средах (атмосферный воздух, атмосферные осадки, поверхностные воды, почва и растительность) на территории Баргузинского БЗ концентрации почти всех загрязняющих веществ были существенно ниже. Исключение составляет только ДДТ, повышенные концентрации которого в атмосферном воздухе и атмосферных осадках периодически регистрировались в летнее время года и могли быть связаны с несанкционированным применением препарата при борьбе с лесными вредителями и комарами. Как правило, они отмечались при переносах воздушных масс с севе-

ро-восточного направления.

Для выяснения пространственного распределения изучаемых загрязняющих веществ в поверхностных водах, почве и растительности в различные годы на территории Баргузинского БЗ сотрудниками станции КФМ совместно с сотрудниками заповедника были проведены отборы проб по профилю вдоль долины реки Давша от уровня 460 м (прибрежная зона) до 1640 м над уровнем моря (над ур.м.) (граница водораздела). Краткая характеристика мест отбора проб представлена ниже:

- Площадка №1а – 460 м над ур. м., прибрежная зона в лесном массиве;
- Площадка №1б – 460 м над ур. м., прибрежная зона на открытом лугу;
- Площадка №2 – 480 м над ур. м., кедровый лес, 5 км от берега;
- Площадка №3 – 518 м над ур. м., луг перед началом горно-лесного пояса, 12,5 км от берега;
- Площадка №4 – 535 м над ур. м., сосновый лес в нижней части горно-лесного пояса, 14,8 км от берега;
- Площадка №5 – 720 м над ур. м., средняя часть горно-лесного пояса, 18,9 км от берега;
- Площадка №6 – высота 1280 м над ур. м., верхняя часть горно-лесного пояса, 25,5 км от берега;
- Площадка №7 – 1400 м над ур. м., карликовый березняк в субальпийском поясе, 27,4 км от берега;
- Площадка №8 – высота 1640 м над ур. м., альпийский луг на водоразделе в 29,5 км от берега.

Результаты измерений проб поверхностных вод, почвы и растительности, отобранных в районе данных площадок за все периоды регулярных наблюдений и обследований с различной степенью подробности представлены в таблицах 5.3-5.20.

Необходимость сохранения региона озера Байкал как эталона чистоты и продолжения начатого ранее контроля за состоянием его экосистем, поставила задачу организации на его территории новой станции КФМ и выбора нового места её размещения.

В 2003 году была предпринята попытка организовать новую станцию КФМ в северо-западной части озера Байкал, на базе метеостанции г. Северобайкальск. В течение почти 1 месяца, при финансовой поддержке администрации Баргузинского БЗ, там проводились наблюдения. Однако, окончательного решения по её открытию в Росгидромете принято не было и наблюдения прекратились, а позднее и метеостанция была закрыта. Полученные результаты по состоянию загрязнения атмосферного воздуха в районе метеостанции представлены в таблице 5.2. Они несколько выше, чем ранее наблюдались в тот же период года на станции КФМ Баргузинского БЗ, что может быть связано с некоторым влиянием источников поселка Северобайкальск.

После официального закрытия фоновой станции некоторые виды наблюдений по ее программе продолжались силами сотрудников Баргузинского БЗ. В 2003-2007 гг. сотрудниками Баргузинского заповедника были продолжены отборы проб поверхностных вод в северной акватории озера Байкал, включая реки Верхняя Ангара (5 точек отбора вдоль реки) и устья рек Рель, Шумилиха, Кабанья, Большая и Давша. Все измерения, как и ранее, выполнялись в аналитической лаборатории ФГБУ «ИГКЭ». Осредненные результаты представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.2. Среднесуточные концентрации некоторых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на метеостанции Северобайкальск в период с 24 октября по 10 декабря 2003 года.

Измеряемое вещество	Единица измерения	Диапазон концентраций	Средняя концентрация
Диоксид серы	мкг/м ³	0,4-6,9	2,3
Диоксид азота	мкг/м ³	0,9-15	4,5
3,4-бензпирен	нг/м ³	0,3-2,7	0,78
Свинец	нг/м ³	1,9-12	5,3
Кадмий	нг/м ³	0,07-0,14	0,11
Цинк	нг/м ³	4-247	65
Никель	нг/м ³	0,7-49	11,0

Таблица 5.3. Концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах рек северной части озера Байкал в 2003-2007 годах (реки Давша, Большая, Кабанья, Шумилиха, Верхняя Ангара, Рель).

Период измерения	Концентрация (средняя, диапазон, число измерений)					
	Свинец, мкг/л	Кадмий, мкг/л	Ртуть, мкг/л	Г-ГХЦГ, нг/г	∑ ДДТ, нг/г	3,4-БП, нг/г
март, сентябрь 2003 г.	1,00	0,050	0,068	2,7	8,3	0,4
	0,34-2,4/8	0,02-0,096/8	0,058-0,08/5	2,4-3,0/3	4,7-17,7/3	0,4/3
сентябрь-октябрь 2004 г.	0,53	0,051	0,46	27	0,5	0,6
	0,41-0,70/9	0,034-0,089/9	0,18-1,07/9	0,8-5,3/7	0,1-2,7/7	0,4-0,8/7
август-сентябрь 2005 г.	0,73	0,13	0,58	1,06	0,23	0,56
	0,38-1,3/11	0,04-0,66/11	0,02-2,3/11	0,4-2,1/11	0,2-1,8/11	0,6-1,3/11
апрель, сентябрь 2006 г.	1,6	-	2,0	0,3	39	0,6
	0,4-4,4/15	-	0,33-5,8/15	0,2-2,1/15	0,2-243/15	0,2-1,0/15
март, сентябрь 2007 г.	2,6	1,3	1,0	1,2	26,2	0,5
	1,3-6,5/7	0,02-0,29/7	0,14-5/7	0,2-2,3/6	0,2-72/6	0,3-0,7/6

Последующие (2009-11 гг.) обследования прибрежных территорий южной части озера Байкал, имеющих регулярное энергоснабжение (пос. Листвянка, Большие Коты, прибрежная зона от г. Байкальск до пос. Танхой), показали, что все эти районы интенсивно осваиваются, подвержены влиянию локальных источников загрязнения и не отвечают требованиям, предъявляемым к месту размещения станции КФМ.

Исследование территории восточной части озера Байкал севернее пос. Танхой: Байкальский БЗ (2011, 2012 гг.), Национальный парк «Заповедное Подлесье» (НП «ЗП»), включающего территорию Баргузинского БЗ (2013 г.) и Фролихинский заказник в северо-восточной части оз. Байкал (2014 г.), показали, что на их территориях выбор места для новой станции КФМ затруднен. Основной проблемой является отсутствие на этих территориях стационарного энергоснабжения, а при его наличии отмечается интенсивное туристическое освоение и загрязнение прилегающих территорий.

По результатам обследований 2010-14 гг. возможными местами размещения новой станции КФМ на озере Байкал (нами) были рекомендованы устье р. Мишиха (северная граница Байкальского БЗ) или прибрежная зона губы Ая вблизи устья реки Фролиха, при условии организации там, на базе кордона Фролихинского заказника, энергоснабжения за счёт ветряного или солнечного источника.

Результаты анализа проб поверхностных вод из рек, впадающих в озеро Байкал, отобранных выше жилой зоны в период обследований прибрежной территории озера Байкал в 2011-14 гг., а также проб почвы и растительности в прибрежной зоне в различных зонах При-

байкальской территории, представлены в таблицах 5.4-5.20. Для удобства анализа результатов, вся обследованная прибрежная полоса озера Байкал была условно разделена на 3 зоны:

- зона №1 – южное Прибайкалье - от г. Байкальск (отборы проб вдоль долин рек Утулик и Солзан) до пос. Танхой (реки Осиновка, Переемная и Мишиха);
- зона №2 - восточное Прибайкалье - территория НП «ЗП», с отборами проб поверхностных вод (ПВ) из Чивыркуйского залива озера Байкал, а также ПВ, почвы и растительности вдоль долин рек Давша и Большая (Баргузинский БЗ);
- зона №3 – северо-восточное Прибайкалье, включающее долины рек Правая и Левая Фролиха и склоны горы Медвежья (Фролихинский заказник).

Таблица 5.4 Сравнение содержания различных химических веществ в поверхностных водах различных районов Прибайкалья (зоны 1-3) в период 2011-14 годов.

Измеряемые вещества	Единица измерения	Концентрация (диапазон изменения, средняя, число измерений)		
		Зона 1 (2011-12 гг.)	Зона 2 (2013 г.)	Зона 3 (2014 г.)
Ртуть	мкг/л	0,01-0,1/0,03 (10)	0,003-0,08/0,021 (8)	0,04-0,19/0,10 (5)
Свинец	мкг/л	0,4-13/4,8 (10)	0,12-8,9/1,84(8)	0,45-0,8/0,61 (5)
Кадмий	мкг/л	0,1-3,2/0,85 (10)	0,021-0,38/0,10 (8)	0,21-0,46/0,29 (5)
медь	мкг/л	0,7-8,1/21,0 (10)	0,57-3,9/1,90 (8)	0,06-2,2/1,6 (5)
γ-ГХЦГ	нг/л	10-56/22 (9)	3,6-5,9/4,8 (6)	11-87/39 (5)
Σ-ДДТ	нг/л	10-260/65 (9)	149-568/298 (6)	13-144/46 (5)
3,4-БП	нг/л	0,10-0,56/0,30 (9)	0,6-1,64/1,06 (6)	0,36-0,54/0,41 (5)

Представленные результаты показывают, что в поверхностных водах по большинству веществ наибольшие значения концентрации отмечаются реках южного Прибайкалья (зона 1), а наименьшие – в зонах 2 и 3. Более высокие концентрации пестицидов (ΣДДТ и γ-ГХЦГ) в реках вдоль восточного побережья озера Байкал, даже в сравнении с результатами, получаемыми на других станциях КФМ, могут быть связаны с их переносом с восточных территорий, где эти соединения продолжали применяться в борьбе с лесными вредителями и комарами.

Такой же характер распределения концентраций отмечается и по содержанию рассматриваемых веществ в почвенном покрове (таблица 5.5). При этом, по высоте исследованного почвенного горизонта 0-15 см концентрации по слоям меняются не существенно.

Таблица 5.5. Осредненная (по всем точкам отбора в вертикальном профиле от 460 до 1400 м) концентрация химических веществ в почвенных горизонтах в различных зонах Прибайкалья.

Измеряемые вещества	Почвенный горизонт, см	Концентрация (диапазон, средняя, число измерений)		
		Зона 1 (2011-12 гг.)	Зона 2 (2013 г.)	Зона 3 (2014 г.)
Свинец	0-4 (A ₀)	9-17/11,7	2,9-5,8/4,7	2,9-5,9/4,1
	4-10 (A ₁)	5,0-14/9,3	2,4-8,2/5,1	2,1-4,7/3,8
	10-15 (A ₂)	4,1-8,8/5,9	3,8-5,5/4,7	3,5-8,4/4,9
	Среднее	8,8	4,8	4,3
Кадмий	0-4 (A ₀)	0,1-0,3/0,2	0,08-2,8/0,66	0,1-0,16/0,12
	4-10 (A ₁)	0,1-0,2/0,16	0,04-0,5/0,2	0,03-0,05/0,04
	10-15 (A ₂)	0,1-0,9/0,3	0,05-2,2/0,6	0,03-0,09/0,05
	Среднее	0,22	0,5	0,07
Медь	0-4 (A ₀)	9,5-14/12,5	3,1-7,1/4,9	2,3-4,2/3,3
	4-10 (A ₁)	7,4-16/10,6	3,7-12/7,4	1,2-4,4/2,7
	10-15 (A ₂)	4,0-9,0/5,4	3,9-5,1/4,4	2,7-4,6/3,3
	Среднее	9,9	5,6	3,1

Таблица 5.5 (окончание). Осредненная (по всем точкам отбора в вертикальном профиле от 460 до 1400 м) концентрация химических веществ в почвенных горизонтах в различных зонах Прибайкалья.

Измеряемые вещества	Почвенный горизонт, см	Концентрация (диапазон, средняя, число измерений)		
		Зона 1 (2011-12 гг.)	Зона 2 (2013 г.)	Зона 3 (2014 г.)
γ-ГХЦГ	0-4 (А0)	-	0,4-2,4/1,7	0,2-5,6/2,8
	4-10 (А1)	-	0,6-4,6/1,9	0,2-7,7/3,2
	10-15 (А2)	-	0,3-1,9/1,4	0,21-2,5/1,2
	Среднее	-	1,7	2,4
ΣДДТ	0-4 (А0)	26-81/48	2-25/7,2	5,7-27/11,5
	4-10 (А1)	1-8,5/4,1	2,5-7,7/5,1	0,4-10/6,7
	10-15 (А2)	17-44/30	2,7-14/6,2	5,6-27/15,5
	Среднее	27,4	6,2	11,2
3,4-БП	0-4 (А0)	0,4-1,7/0,8	0,3-0,7/0,57	0,25-2,4/1,0
	4-10 (А1)	0,9-2,9/2,0	0,4-4,6/0,68	0,24-1,3/0,52
	10-15 (А2)	0,9-3,5/2,5	0,4-1,0/0,6	0,24-0,6/0,36
	Среднее	2,5	0,6	0,63

Таблица 5.6. Осредненные (по всем точкам отбора в вертикальном профиле от 460 до 1400 м) значения концентраций изучаемых загрязняющих веществ в растительности (по видам) в различных зонах Прибайкалья.

Вещество	Зона	Тип растительности					
		Хвоя кедр (год прирост)	Лист берёзы	Мох	Лист бадана	Лист черники	Папоротник
Свинец, мкг/г	1	0,5-1,8/0,9(7)	1,3-3/2,2(2)	2-3,8/2,9(2)	0,78(2)	1-1,7/1,4(2)	0,5-2,3/1,3(7)
	2	0,33-1,3/0,7(5)	0,4-0,7/0,5(6)	1,0-2,9/2,3(4)	0,3-1,4/0,7(6)	-	-
	3	0,3-1,3/0,7(4)	0,39(1)	1,0-2,3/1,5(3)	0,9-1,8/1,4(2)	-	-
	Средн.	0,8	1,0	2,2	1,0		
Кадмий, мкг/г	1	0,3-0,7/0,4(7)	0,2(2)	0,1(2)	4,8-7/5,6(2)	0,17-0,2/0,18(2)	0,2-0,9/0,5(7)
	2	0,2-0,5/0,3(5)	0,3-0,9/0,6(6)	0,3-1,3/0,6(4)	0,1-0,3/1,5(6)		
	3	0,1-0,4/0,3(4)	0,69(1)	0,3-0,5/0,35(3)	0,08-0,13/0,11(2)	-	-
	Средн.	0,33	0,50	0,35	2,4		
Медь, мкг/г	1	4-10/6,1(7)	4,9(2)	4,8-6,5/5,6(2)	3,1-3,5/3,3(2)	5-6,6/5,8(2)	3,9-6,5/5,1(7)
	2	1,1-2,5/2,1(5)	0,5-21/5,2(6)	2,3-3,2/2,7(4)	0,9-3,2/1,9(6)	-	-
	3	2,4-3,9/3,2(4)	4,6(1)	3,3-3,6/3,5(3)	2,4-2,7/2,55(2)	-	-
	Средн.	3,8	4,9	3,9	2,6		
γ-ГХЦГ, нг/г	1	-	-	-	-	-	-
	2	1,6-5,4/3,3(5)	1,1-2,5/1,8(6)	1,0-7,0/3,3(4)	1,4-5,5/3,3(6)	-	-
	3	0,2-1,6/1,0(4)	0,2(1)	0,2-7,2/2,7(3)	0,2(2)	-	-
	Средн.	2,15	1,0	3,0	1,8		
ΣДДТ, нг/г	1	6-26/16(4)	0,6-2,3/1,5(2)	13-35/24(2)	-	-	0,3-51/15(4)
	2	3,0-31/15(58)	1,9-10/3,8(6)	1,3-8,9/4,1(4)	3,9-46/20(6)	-	-
	3	0,4-9,2/6,2(4)	3,6(1)	8,2-14/10,7(3)	2,0-5,2/3,6(2)		
	Средн.	12,4	3,0	12,9	11,8		

Таблица 5.6 (окончание). Осредненные (по всем точкам отбора в вертикальном профиле от 460 до 1400 м) значения концентраций изучаемых загрязняющих веществ в растительности (по видам) в различных зонах Прибайкалья.

3,4-БП, нг/г	1	0,1-0,34/0,27(4)	0,1-0,9/0,2(2)	0,2-0,9/0,54(2)	-	-	0,14-0,3/0,2(4)
	2	0,2-1,6/0,6(5)	0,2-0,6/0,3(6)	0,5-1,8/0,8(4)	0,2-0,6/0,3(6)		
	3	0,2-0,6/0,4(4)	0,37(1)	0,3-0,78/0,39(3)	0,25-0,5/0,37(2)	-	-
	Средн.	0,42	0,3	0,6	0,34		

В 2011-12 годах ФГБУ «ИГКЭ» провел 2 комплексных обследования южной и юго-восточной частей Прибайкалья с отборами проб поверхностных вод (табл. 5.7), почвы (табл. 5.10-5.15) и растительности (табл. 5.16-5.20) в районах населенных пунктов Байкальск и Танхой, включая территорию Байкальского БЗ.

В 2013 году по той же программе была обследована территория Национального парка «Заповедное Подлеморье», включающего в настоящее время и территорию Баргузинского БЗ (таблицы 5.8, 5.13), а в 2014 года проведено обследование Фролихинского заказника (таблицы 5.9, 5.14, 5.15), являющегося частью Баргузинского БЗ и расположенного в северо-восточной части Прибайкалья (зона 3). Целью всех обследований был поиск мест, пригодных для организации на озере Байкал новой станции КФМ.

Кроме задачи оценки состояния загрязнения поверхностных вод, почвы и растительности в прибрежных зонах указанных районов, проводились отборы всех видов проб в 4-6 точках вдоль речных долин, до водораздельных гребней.

Из данных таблиц видно, что во всех рассматриваемых средах наиболее высокие уровни концентраций загрязняющих веществ, в большинстве случаев, отмечаются в зоне 1 – вдоль южного побережья озера Байкал.

Сравнение результатов, полученных в 2011-14 гг. с данными наблюдений 1983-98 гг. на станции КФМ показывает, что, в целом, за исключением ДДТ, в регионе озера Байкал по большинству ингредиентов во всех средах за последние годы произошло некоторое снижение уровней концентраций. Это может быть следствием спада уровня промышленного производства в этот период, что также подтверждается работами, где анализируется многолетняя динамика изменения концентраций на других станциях КФМ. Полученные результаты показывают, что созданная система КФМ действует и реагирует на изменения антропогенной нагрузки на окружающую среду в масштабах как отдельных районов страны, так и более крупных регионов.

Таблица 5.7. Концентрации некоторых химических веществ в поверхностных водах рек южного и юго-восточного Прибайкалья (зона 1) в 2011-12 годах.

Место отбора, высота над уровнем моря	Дата отбора	Концентрация, нг/л			Концентрация, мкг/л			
		γ-ГХЦГ	ΣДДТ	3,4-БП	Hg	Pb	Cd	Cu
оз. Байкал в 500 м от берега, (напротив г. Байкальск), 453 м	08.2011	56	10	0,54	0,05	0,74	0,45	0,76
р. Утулик, 1 км выше устья, 468 м	07,09.2011	55	119	0,56	0,01	0,65	0,14	1,5
р. Солзан, (1 км выше города Байкальск), 469 м	08,09,2011	17	218	нпо	0,01	0,43	0,09	1,6
р. Переемная (устье), 453 м	11.09.2011	28	262	0,36	0,02	1,9	0,65	1,0
р. Мишиха (устье), 453 м	12.09.2011	-	-	-	0,02	13	3,2	1,1

Таблица 5.7 (окончание). Концентрации некоторых химических веществ в поверхностных водах рек южного и юго-восточного Прибайкалья (зона 1) в 2011-12 годах.

Место отбора, высота над уровнем моря	Дата отбора	Концентрация, нг/л			Концентрация, мкг/л			
		γ-ГХЦГ	ΣДДТ	3,4-БП	Hg	Pb	Cd	Cu
р. Осиновка (нижн.мост), 516 м	02.09.2012	нпо	нпо	0,24	0,03	9,1	0,16	0,72
р. Осиновка (2-е зимовье), 855 м	01.09.2012				0,05	5,6	0,25	3,2
р. Осиновка (альпийская зона, исток), 1270 м	01.09.2012	нпо	8,2	0,48	0,09	7,7	0,28	1,5
оз. Байкал (пос. Танхой), 453 м	04.09.2012	нпо	12	0,24	0,04	2,7	0,34	8,1
р. Селенга (дельта, Кабанский заказник), 453 м	04.09.2012	нпо	нпо	0,12	0,51	7,2	0,10	2,1
Среднее		24	81	0,32	0,08	4,9	0,57	2,2

Таблица 5.8. Концентрации некоторых химических веществ в поверхностных водах рек Давша и Большая на территории Баргузинского БЗ и прилегающей к территории Национального парка Заповедное Подлеморье акватории озера Байкал в августе 2013 года.

Характеристика мест отбора проб (высота над ур. м., м)	Концентрация, мкг/л				Концентрация, нг/л		
	Ртуть	Свинец	Кадмий	Медь	Гамма-ГХЦГ	Σ ДДТ	3,4-БП
р. Давша, Н=1390 м (исток)	0,022	0,12	0,021	0,57	4,5	198	0,82
р. Давша, Н=518 м	0,012	0,98	0,028	2,1	5,9	568	0,59
р. Давша, Н=460м (устье)	0,003	0,23	0,036	0,65	4,2	307	1,64
р. Большая, Н=455 м (устье)	0,08	8,9	0,38	1,9	3,6	149	0,82
оз. Байкал, Давшинский залив,	0,007	1,3	0,12	3,9	5,5	318	1,64
оз. Байкал, начало Чивыркуйского залива Н=455 м	0,008	0,31	0,046	0,95	-	-	-
Чивырк. залив, о. Бакланий	0,018	0,61	0,045	0,67	5,3	247	0,82
Чивырк. залив, пос. Монахово	0,015	2,3	0,16	1,5	-	-	-

Таблица 5.9. Концентрации некоторых химических веществ в поверхностных водах на территории Фролихинского заказника Баргузинского заповедника и северной части озера Байкал в августе 2014 года.

Характеристика мест отбора проб (высота над ур. м., м)	Концентрация, мкг/л				Концентрация, нг/л		
	Ртуть	Свинец	Кадмий	Медь	γ-ГХЦГ	ΣДДТ	3,4-БП
Озеро Фролиха, Н=528 м	0,06	0,59	0,46	0,06	20	13	0,54
р. Левая Фролиха, Н=528 м (устье)	0,09	0,67	0,21	2,2	36	16	0,38
р. Правая Фролиха, Н=528 м (устье)	0,19	0,54	0,34	1,7	11	144	0,36
оз. Байкал, губа Ая, Н=455 м	0,04	0,8	0,23	1,9	87	32	0,38
оз. Байкал середина озера, Н=455 м	0,12	0,45	0,23	2,3	40	24	0,38

Таблица 5.10. Зона 1 - Почва вдоль долин рек Утулик, Солзан, Осиновка (выше населённых пунктов). Осреднение по пунктам отбора проб в 2011-12 гг. (в слое почвы 0-13см).

Пункты отбора проб, высота, м над ур. моря	Концентрация в слое 0-13 см				
	Свинец, мкг/л	Кадмий, мкг/л	Медь, мкг/л	ΣДДТ, нг/л	3,4-БП, нг/л
р. Утулик, Н=560 м, 2011 г.	8,0	0,17	8,8	21	2,1
р. Солзан, Н=570 м, 2011 г.	8,0	0,2	9,9	30	1,9
р. Осиновка, Н=540 м над.ур.м., 2011,12 гг.	7,8	0,13	7,7	42	0,65
Долина р. Осиновка, Н=860 м над.ур.м.2011,12 гг.	10,7	0,31	9,4	17	0,67
Долина р. Осиновка, Н=960 м над.ур.м.,2012 г.	10,8	0,15	15	-	-
Долина р. Осиновка, Н=1276 м над.ур.м. 2012 г.	10	0,2	12,5	-	-

Таблица 5.11. Зона 2 - почва вдоль долины р. Давша (гумусовый горизонт 0-5 см) по данным станции КФМ, 1983-93 гг. (профиль вдоль склона долины).

№№ площадок, высота над ур.м.	Концентрация (диапазон, средняя, число измерений)				
	Свинец, мкг/г	Кадмий, мкг/г	Ртуть, мкг/г	γ-ГХЦГ, нг/г	Σ ДДТ, нг/г
Площ. 1а, (луг Н=460 м)	1,7-8,9/5,5 (2)	0,08-0,37/0,23(2)	0,01-0,012/ 0,01(2)	3,2-5,9/4,5 (2)	13,1-15/14,1(2)
Площ.1б, (лес Н=460 м)	3,2- 26,3/14,7(4)	0,08-0,2/0,12 (4)	0,01-0,04/ 0,027(4)	0,5-9,5/5,9(4)	1,2-72/28,1 (4)
Площ. 2,(кедр. лес Н=480 м)	6,2-8,2/6,9(4)	0,14-0,30/0,21(4)	0,01-0,10/0,07 (4)	0,05-0,25/0,13(5)	0,55-4,8/2,2 (4)
Площ. 3 (луг, Н=518 м)	5,5-10,2/8,0(4)	0,22-0,50/0,36(4)	0,008-0,2/0,07 (4)	0,05-1,02/0,56 (6)	0,28-2,5/1,6 (4)
Площ. 4 (начало горно-лесного пояса, Н=535 м)	4,6-7,0/5,8(4)	0,21-0,35/0,26(4)	0,007-0,2/0,09 (4)	0,05-0,36/0,20 (6)	0,28-3,8/2,1 (4)
Площ. 5 (средняя часть лесного пояса, Н=720 м)	5,4-8,2/6,4(4)	0,13-0,45/0,34(4)	0,02-0,22/0,12 (4)	0,18-2,1/0,60 (6)	0,32-8,6/4,0 (4)
Площ. 6 (верхняя часть лесного пояса, Н=1280 м)	7,1-9,8/8,7(4)	0,12-0,33/0,23(4)	0,03-0,09/0,06 (4)	0,05-1,05/0,38 (6)	0,28-7,4/3,2 (4)
Площ. 7 (субальпийский пояс, Н=1400 м)	4,8-12,8/8,5(4)	0,13-0,34/0,22(4)	0,02-0,40/0,14 (4)	0,05-0,96/0,47 (6)	0,55-5,4/2,6 (4)
Среднее	8,1	0,25	0,07	1,6	7,2

Таблица 5.12. Зона 2 - почва вдоль долины реки Давша, осредненные концентрации в слое почвы 0-10 см, по данным станции КФМ в 1983-93 гг.

Место отбора проб, высота	Концентрация (средняя, диапазон, число измерений)				
	Свинец, мкг/г	Кадмий, мкг/г	Ртуть, мкг/г	γ-ГХЦГ, нг/г	Σ ДДТ, нг/г
Долина р. Давша (460-1400 м над ур. м.)	8,1	0,25	0,07	1,6	1,9
	1,7-26,3	0,08-0,45	0,007-0,40	0,05-9,5	0,28-72
	30	30	30	41	30

Таблица 5.13. Зона 2 - почва вдоль долины р. Давша средняя концентрация в слое почвы 0-15 см в интервале высот 460-1640 м над ур. моря, 2013 г (профиль вдоль склона долины).

Характеристика точек отбора проб, высота над ур. моря, м., расстояние от берега озера, км	Концентрация (диапазон, средняя)					
	Свинец, мкг/л	Кадмий, мкг/л	Медь, мкг/л	γ-ГХЦГ, нг/л	Σ ДДТ, нг/л	3,4-БП, нг/л
Прибрежная зона озера Байкал, 460 м	2,5	0,35	5,0	3,5	6,4	0,62
Сенокосный луг, 518 м, 12,5 км от берега	5,3	0,15	5,6	1,1	13,7	1,1
Осинник с хвойным подростом в горно-лесном поясе, 720 м, 18,9 км от берега	6,5	1,8	4,4	0,9	3,3	0,39
Верхняя часть горно-лесного пояса, 1280 м, 25,5 км от берега	4,8	0,07	6,8	1,6	5,1	0,49
Верхняя граница леса, карликовый березняк, 1395 м, 27,4 км от берега	4,1	0,06	3,7	1,5	4,1	0,49
Верховье долины, гребень, альпийский луг, 1640 м, 29,5 км от берега	5,1	0,40	7,9	2,2	4,6	0,66
Среднее	4,7	0,47	5,6	1,8	6,2	0,62

Таблица 5.14. Почва вдоль долины р. Фролиха и склона горы Медвежья в интервале высот 465-1877 м над ур. м. Осреднение по почвенным горизонтам в 4-х точках отбора.

Горизонт, см	Концентрация					
	Свинец мкг/г	Кадмий мкг/г	Медь мкг/г	γ-ГХЦГ нг/г	Σ ДДТ нг/г	3,4-БП, нг/г
0-6(8), Ао	2,9-5,9 /4,1	0,1-0,16/0,12	2,3-4,2/3,3	0,2-5,6/2,8	5,7-27/11,5	0,25-2,4/1,0
6(8)-10, А1	2,1-4,7 /3,8	0,03-0,05/0,04	1,2-4,4/2,7	0,2-7,7/3,2	0,4-10 /6,7	0,24-1,3/0,52
10-15, А2	3,5-8,4 /4,9	0,03-0,09 /0,05	2,7-4,6/3,3	0,2-2,5/1,2	5,6-27/15,5	0,24-0,6/0,36
Среднее	4,3	0,07	3,1	2,4	11,2	0,63

Таблица 5.15. Почва (средние по точкам отбора в слое 0-15 см) в интервале высот 465-1877 м над ур. м.

Точки отбора проб, высота, м над ур. моря	Концентрация					
	Свинец, мкг/г	Кадмий, мкг/г	Медь, мкг/г	γ-ГХЦГ, нг/г	ΣДДТ, нг/г	3,4-БП, нг/г
Долина бухты Ая, 465 м	2,1-3,8/2,9	0,03-0,11 /0,06	1,2-4,2 /2,7	0,2-7,7 /3,3	9,9-15/11,7	0,6-2,4/1,45
Озеро Фролиха, 587 м	4,0-5,9/4,8	0,04-0,09 /0,06	1,6-3,4 /2,6	0,2	8,4-27/15,3	0,2-0,3/0,25
Устье р. Правая Фролиха, 692 м	3,2-4,7/3,8	0,04-0,16 /0,08	2,5-4,4 /3,3	0,2-5,3/2,0	6,3-27/17,2	0,2-0,6/0,40
Вершина горы Медвежья, 1877 м	3,8-8,4/5,5	0,04-0,13 /0,09	2,3-4,6 /3,5	2,5-5,6/4,1	0,4-5,6/3,8	0,2-2,4/0,42

Таблица 5.16. Концентрации некоторых химических веществ в растительности на территории Баргузинского заповедника по данным станции КФМ за 1988-1993 гг.

Вид растительности	Концентрация (диапазон, средняя, число измерений)				
	Свинец, мкг/г	Кадмий, мкг/г	Ртуть, мкг/г	γ-ГХЦГ, нг/г	Σ ДДТ, нг/г
Хвоя кедра	0,1-1,7/0,7 (20)	0,1-1,8/0,4 (20)	0,002-0,11/0,09 (14)	0,05-5,1 /1,2 (28)	0,3-21 /6,4 (18)
Лист берёзы	0,64-3,38/12 (12)	0,26-1,42/ (12)	0,005-0,04/0,02 (8)	0,1-12,8/0,7 (16)	0,6-18,2/7,9 (5)
Разнотравье	0,1-3,52/1,19 (25)	0,1-0,67/0,22 (25)	0,004-0,17/0,08 (21)	0,05-6,6/1,31 (18)	0,5-32/10,8 (12)
Мох	0,2-43/10,9 (13)	0,14-2,5/0,64 (13)	0,01-0,11/0,09 (10)	0,05-6,17/3,4 (22)	0,6-12,5/3,2 (17)
Лишайники	1,7-11,6/5,6 (3)	0,08-0,2/0,13 (3)	0,04-0,06/0,05 (3)	0,8-2,9/2,0 (4)	0,2-0,33/0,26 (3)

Таблица 5.17. Растительность (вдоль долин рек Утулик, Солзан, Осиновка) (2011-12 гг.)

Вид растительности	Концентрация				
	Свинец, мкг/л	Кадмий, мкг/л	Медь, мкг/л	ΣДДТ, нг/л	3,4-БП, нг/л
Папоротник	0,5-2,3/1,3(7)	0,2-0,9/0,5(7)	3,9-6,3/5,1(7)	0,3-51/15(4)	0,14-0,3/0,2(4)
Хвоя кедра	0,5-1,8/0,9(7)	0,27-0,7/0,4(7)	4-10/6,1(7)	6-26/16(4)	0,1-0,34/0,27(4)
Лист берёзы	1,3-3/2,2(2)	0,2(2)	4,9(2)	0,6-2,3/1,5(2)	0,06-0,9/0,19
Мох	2-3,8/2,9(2)	0,1(2)	4,8-6,5/5,6(2)	13-35/24(2)	0,19-0,9/0,54(2)
Лист бадана	0,78(2)	0,1-0,2/0,14(2)	3,1-3,5/3,3(2)	-	-
Лист черники	1-1,7/1,35(2)	0,17-0,2/0,18(2)	5-6,6/5,8(2)	-	-
Среднее	0,5-3,8/1,3(27)	0,1-0,9 /0,32(25)	3,1-10 /5,3(27)	0,3-54/14(13)	0,06-0,9 /0,3(13)

Таблица 5.18. Растительность вдоль долины реки Давша (460-1640 м над ур. м.) в 2013 году

Вид растительности, высотный пояс (над ур. м.)	Концентрация					
	Свинец, мкг/г	Кадмий, мкг/г	Медь, мкг/г	γ-ГХЦГ, нг/г	ΣДДТ, нг/г	3,4-БП, нг/г
Хвоя кедра, годовой прирост (460-1400 м)	0,33-1,3/0,7 (5)	0,2-0,5/0,3 (5)	1,1-2,5/2,1 (5)	1,6-5,4/3,3 (5)	3,0-31/15 (5)	0,2-1,6/0,6 (5)
Лист берёзы (460-1640 м)	0,4-0,7/0,5 (6)	0,3-0,9/0,6 (6)	0,5-21/5,2 (6)	1,1-2,5/1,8 (6)	1,9-10/3,8 (6)	0,2-0,6/0,3 (6)
Лист бадана (460-1640 м)	0,3-1,4/0,7 (6)	0,1-0,3/1,5 (6)	0,9-3,2/1,9 (6)	1,4-5,5/3,3 (6)	3,9-46/20 (6)	0,2-0,6/0,3 (6)
Мох (460-1280 м)	1-2,9/2,3 (4)	0,3-1,3/0,6 (4)	2,3-3,2/2,7 (4)	1,0-7,0/3,3 (4)	1,3-8,9/4,1 (4)	0,5-1,8/0,8 (4)
Среднее	0,3-2,9/0,85 (21)	0,1-1,3/0,4 (21)	0,5-3,2/3,0 (21)	1,0-7,0/2,9 (21)	1,3-46/9,8 (21)	0,2-1,8/0,49 (21)

Таблица 5.19. Растительность в районе озера Фролиха и по склону горы Медвежья (465- 1877 м над ур.м.), 2014 год.

Вид растительности	Концентрация, мкг/г			Концентрация, нг/г		
	Свинец	Кадмий	Медь	γ-ГХЦГ	Σ ДДТ	3,4-БП
Хвоя кедр (годовой прирост)	0,3-1,3 /0,7 (4)	0,1-0,4 /0,3 (4)	2,4-3,9 /3,2 (4)	п.о.-1,6 /1,0 (4)	п.о.-9,2 /6,2	0,2-0,6 /0,4 (4)
Лист берёзы	0,39 (1)	0,69 (1)	4,6 (1)	п.о. (1)	3,6 (1)	0,37 (1)
Лист бадана	0,9-1,8 (2)	0,08-0,13	2,4-2,7 (2)	п.о.	2,0-5,2 (2)	0,25-0,48
Мох плевроциум шребера (годовой прирост)	1,0-2,3 /1,5 (3)	0,3-0,5 /0,35 (3)	3,3-3,6 /3,5 (3)	п.о-7,2 /2,7 (3)	8,2-14 /10,7 (3)	0,31-0,78 /0,39 /(3)
Среднее	0,3-2,3/0,9 (14)	0,08-0,69 /0,26(14)	2,4-4,6 /3,5(14)	0,2-7,2 /0,91(14)	0,4-14 /7,9(14)	0,2-0,78 /0,35(14)

Таблица 5.20. Осредненные результаты концентрации загрязняющих веществ в почвах, растительности и поверхностных водах на территориях, примыкающих к южной (зона 1), восточной (зона 2) и северо-восточной (зона 3) части озера Байкал по данным 2011-14 годов (указан диапазон изменения концентраций и их средние значения).

Зона	Свинец,	Кадмий	Медь	Ртуть	γ-ГХЦГ	ΣДДТ	3,4-БП
Почва							
	<i>мкг/г</i>	<i>мкг/г</i>	<i>мкг/г</i>	-	<i>нг/г</i>	<i>нг/г</i>	<i>нг/г</i>
1	4,1-10/7,1	0,1-0,9/0,24	4,0-9,0/6,5	-	0,2-30/9,7	14-41/26	0,3-2,3/1,2
2	2,4-8,2/4,9	0,04-2,8/0,41	3,1-12/6,1	-	0,3-4,6/1,8	3,0-25/6,6	0,3-1,6/0,62
3	2,1-8,4/4,3	0,03- 0,16/0,09	1,2-4,6/2,9	-	0,2-7,7/3,0	2,2-27/10,0	0,2-2,4/0,76
Растительность							
	<i>мкг/г</i>	<i>мкг/г</i>	<i>мкг/г</i>	-	<i>нг/г</i>	<i>нг/г</i>	<i>нг/г</i>
1	0,5-3,8/1,5	0,1-0,9/0,34	3,9-10/5,4	-	менее 0,2	0,5-51/14	0,06-0,9/0,39
2	0,3-3,5/0,9	0,06-0,9/0,40	0,5-4,0/2,2	-	1,0-7,1/2,9	3,3-46/12,6	0,24-1,78/0,49
3	0,3-2,3/0,9	0,06-0,7/0,24	2,4-5,9/3,5	-	0,2-7,2/0,9	0,2-20/7,8	0,12-0,64/0,35
Поверхностные воды							
	<i>мкг/л</i>	<i>мкг/л</i>	<i>мкг/л</i>	<i>мкг/л</i>	<i>нг/л</i>	<i>нг/л</i>	<i>нг/л</i>
1	0,4-13/4,4	0,1-3,2/0,8	0,7-8,1/2,0	0,01-0,5/0,23	10-69/25	8-262/109	0,01-0,5/0,3
2	0,23-8,9/2,0	0,02-0,4/0,11	0,5-3,9/1,7	0,003-0,1/0,024	3,6-5,9/4,7	149-560/308	0,59-1,6/1,1
3	0,3-0,9/0,57	0,04-0,5/0,20	0,6-2,3/1,5	0,01-0,19/0,07	5,3-87/33	4-247/76	0,36-1,4/0,8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка трендов фонового содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и осадках за последние 15-20 лет, включая 2021 г., на территории Беларуси и России, свидетельствует о сохранении на их территории условий, обеспечивающих низкие фоновые уровни концентрации свинца, кадмия, соединений серы и азота, бенз(а)пирена, пестицидов 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 CO₂ в атмосфере северных широт достиг в 2021 г. очередного максимума: среднегодовое значение на фоновых станциях превысило 419 млн⁻¹, а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превзошли значение 425 млн⁻¹. Концентрация метана также продолжает увеличиваться. Прирост концентрации метана в 2021 г. для большинства месяцев составил больше 20 млрд⁻¹. Среднегодовая концентрация метана приблизилась к значению 2000 млрд⁻¹, а на станции Тикси превысила это значение.

Отклонения среднемесячных значений ОСО над территорией России от нормы на протяжении всего 2021 г., в основном, имели отрицательные значения, до -20% в марте. В целом в 2021 г. не было отмечено значительного разрушения озонового слоя и, как следствие, экстремальных уровней УФ-В радиации, не характерных для времени года во всех регионах Российской Федерации и на сопредельных территориях.

На большинстве рассматриваемых станций в 2021 г. отмечалось уменьшение оптической плотности атмосферы и, соответственно, увеличение её прозрачности по сравнению с 2020 г. В 2021 г. на всех рассматриваемых станциях ОПА была существенно ниже нормы, за исключением станции Туруханск, где значение ОПА по сравнению с нормой не изменилось. На станциях Шаджатмаз и Иркутск* это снижение составило почти -12%. Таким образом, можно говорить об общем снижении оптического загрязнения атмосферы в 2021 г. относительно 30-летней нормы в районах проведения фоновых наблюдений.

По сравнению с предшествующим периодом (2015 – 2020 гг.) в 2021 году не отмечалось существенных изменений градиента потенциала электрического поля атмосферы.

В 2020 г. среднегодовые фоновые концентрации тяжелых металлов в атмосферных осадках сохранились на низком уровне.

В 2021 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 отличались от среднемноголетних годовых значений не более чем 10%.

На российских станциях ЕМЕП в 2021 г. кислые осадки с рН < 4 практически не наблюдались; на всех станциях повторяемость выпадений атмосферных осадков с рН от 5 до 6 превышала 48-50%. В целом в 2021 г. отмечено уменьшение выпадений, как серы, так и азота с осадками на всех российских станциях ЕМЕП. Доля аммонийного азота составила около 60% от суммарного влажного выпадения азота. Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2021 г. и значений критических нагрузок по этим элементам позволяют

сделать вывод, что выпадения серы существенно ниже уровня критических нагрузок для западных и центральных районов России, находятся на уровне или немного превышают (в отдельные годы) расчетные критерии в северо-западных частях ЕТР. На северных станциях ЕМЕП суммарные выпадения азота также близки к критическим значениям, что является тревожным сигналом с учетом существующих тенденций изменения выпадений азота с осадками к росту год от года.

По данным измерений в 2021 г. среднегодовое содержание газовых примесей в воздухе продолжало возрастать по сравнению с предыдущими годами только на станциях ЕАНЕТ в регионе оз. Байкал. В 2021 г. продолжало наблюдаться снижение концентраций азот- и серосодержащих аэрозолей в целом на всех станциях в регионе оз. Байкал, на станции Монды концентрации нитратов были близки к уровню среднего многолетнего, а в Приморье отмечено значительное уменьшение содержания сульфатов.

Данные мониторинга ХССП показали, что в зимний период 2020-2021 гг. на большей части территории страны потоки серы с атмосферными осадками составили менее 20 кг/км²·мес. На 60 % территории РФ показатель интенсивности выпадения азота находится в пределах 10 - 15 кг/км²·мес. На более чем 80 % территории РФ среднемесячный показатель рН по регионам находился в пределах 5,5 – 6,5 единиц.

Содержание в почвах СКФМ 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 определенных 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.

Фоновое содержание ртути, свинца, кадмия в поверхностных водах большинства районов России соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние годы.

Анализ качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям показал, что уровни загрязненности большинства водных объектов РФ в фоновых районах сохранилось прежними.

В целом по результатам фоновых наблюдений за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети ЕАНЕТ, в 2021 году для р. Комаровка (Приморье) наблюдалось резкое увеличение содержания основных ионов (SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+}) в осенний период. Также нарушился тренд увеличения кислотности, а среднегодовое значение рН составило 7,91 (при максимальном 8,40), что значительно выше среднего значения за весь период наблюдения. В связи с изменением предыдущих трендов для реки Комаровка, требуется дальнейшее наблюдение за концентрациями веществ в реке для определения наличия новых тенденций. Для р. Переменная уровни основных ионов в течение последних лет в целом сохраняются стабильными.

В Баренцевском, Балтийском, Карском и Восточно-Сибирском и Тихоокеанском гидрографических районах на всех 11 фоновых участках, выбранных водных объектов экосистемы в 2013–2021 гг. не претерпели больших изменений, вариации состава сообществ лежали в пределах одного класса качества вод. Состояние экологического благополучия характерно для 7 из 13 фоновых участков: рек Лотта, Витте и Нижняя Чуна (Лапландский БЗ) в Баренцевском гидрографическом районе, р. Джидда бассейна оз. Байкал в Карском гидрографическом районе, дельты р. Лена (БЗ «Усть-Ленский») и в р. Копчик-Юреге в Восточно-Сибирском гидрографическом районе. Из них только в 2-х наблюдаемых фоновых пунктах р. Лена и р. Копчик-Юреге не выявлены признаки антропогенного воздействия. В остальных фоновых объектах присутствуют различной степени признаки антропогенного экологического напряжения экосистем.

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.

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		Буйволов Ю.А.	ФГБУ «ИГКЭ»	
1	АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ И ОСАДКИ			
	1.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе	Парамонов С.Г., Которова М.С., Жигачева Е.С., Иванов В.А., Колесникова А.П., Рычкова А.А.	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.2.	Физические и химические характеристики атмосферы	Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Ивахов В.М., Русина Е.Н., Боброва В.К., Соломатникова А.А., Волохина Д.Ю., Жукова М.П., Соколенко Л.Г., Зайнетдинов Б.Г., Занюков В.В. Вязанкин А.С., Цветкова Н.Д., Банкова Т.В, Варгин П.Н., Лукьянов А.Н., Юшков В.А.	ФГБУ «ГГО» ФГБУ «ЦАО»
	1.3.	Химический состав атмосферных осадков		
	1.3.1	Загрязняющие вещества в атмосферных осадках	Парамонов С.Г., Бурцева Л.В., Конькова Е.С., Александрова М.С., Пастухов Б.В., Позднякова Е.А., Конькова А.С.	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.3.2	Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	Першина Н.А., Павлова М.Т., Семенец Е.С., Полищук А.И., Михайлова А.С.	ФГБУ «ГГО»
	1.4.	Загрязнение воздуха и осадков соединениями серы и азота по данным станций мониторинга ЕАНЕТ	Громов С.А., Жигачева Е.С., Рычкова А.А., Трифонова-Яковлева А.М. Галушин Д.А., Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Нецветаева О.Г.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУН «ЛИН СО РАН»
	1.5.	Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ	Брускина И.М., Громов С.А., Александрова М.С., Иванов В.А.	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»
2.	ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ			
	2.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности по данным сети станций комплексного фонового мониторинга	Парамонова Т.А., Черногаева Г.М., Позднякова Е.А.	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.	ФГБУ «НПО «Тайфун»
3.	ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ			
	3.1.	Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ	Парамонов С.Г., Бурцева Л.В., Алехина М.А., Пастухов Б.В.	ФГБУ «ИГКЭ»
	3.2.	Данные станций гидрохимических наблюдений	Романюк О.Л, Лобченко Е.Е., Емельянова В.П., Первышева О.А.	ФГБУ «ГХИ»
	3.3	Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ	Жигачева Е.С., Громов С.А., Рычкова А.А. Томберг И.В., Ходжер Т.В.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУН «ЛИН СО РАН»
	3.4.	Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям	Потютко О.М., Буйволов Ю.А., Быкова И.В., Лазарева Г.С., Никонорова Д.В., Лукашина Л.С.	ФГБУ «ИГКЭ»
4	МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ		Лемутова М.И., Мельник Е.А. Департамент экологического мониторинга Парамонов С.Г.	Белридромет, Березинский БЗ (Республика Беларусь) РГП «Казгидромет» (Республика Казахстан) ФГБУ «ИГКЭ»
5			Пастухов Б.В., Парамонов С.Г., Саратовцева Е.Е.	
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 2021.

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 2021. 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 the trend in the background content of pollutants in atmospheric air and precipitation over the past 15-20 years, including 2021, on the territory of Belarus and Russia, shows that conditions that ensure low background levels of lead, cadmium, sulfur and nitrogen compounds, Benz(a)pyrene, and pesticides in the natural environment remain in the territory of these States. However, the analysis of changes in the content of pollutants in the atmospheric air on 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 we can expect an increase in background air pollution with certain pollutants.

The level of CO₂ concentration in the atmosphere of northern latitudes reached another maximum in 2021. The average annual value at background stations exceeded 419 million⁻¹, and the maximum annual concentrations observed in the winter months exceeded the value of 425 million⁻¹. The concentration of methane also continues to increase. The increase in methane concentration in 2021 for most months amounted to more than 20 billion⁻¹. The average annual methane concentration approached the value of 2000 billion⁻¹, and at the Tiksi station exceeded this value.

Deviations of the average monthly values of the CCA over the territory of Russia from the norm throughout 2021, mainly had negative values, up to -20% in March. In general, in 2021, there was no significant destruction of the ozone layer and, as a result, extreme levels of UV-B radiation, which are not typical for the time of year in all regions of the Russian Federation and in adjacent territories.

At most of the stations under consideration in 2021, there was a decrease in the optical density of the atmosphere and, accordingly, an increase in its transparency compared to 2020. In 2021, the ODA was significantly lower than normal at all the stations under consideration, with the exception of the Turukhansk station, where the ODA value did not change compared to the norm. At Shajatmaz and Irkutsk* stations, this decrease was almost -12%. Thus, we can talk about a general decrease in optical pollution of the atmosphere in 2021 relative to the 30-year norm in the areas of background observations.

In comparison with the previous period (2015 – 2020), there were no significant changes in the gradient of the potential of the electric field of the atmosphere in 2021.

In 2021, the average annual background concentrations of trace metals in atmospheric precipitation remained low.

In 2021, according to observations at the background monitoring stations for chemical precipitation and atmospheric composition that are part of the WMO Global atmospheric service network, the content of individual ions, mineralization, specific electrical conductivity, and pH values differed from the long-term average annual values by no more than 10%

At Russian EMEP stations in 2020, acid precipitation ($\text{pH} < 4$) was almost not observed; at all stations, the frequency of precipitation with a pH of 5 to 6 exceeded 48-50%. In general, in 2021, there was a decrease in precipitation of both sulfur and nitrogen with precipitation at all Russian EMEP stations. The proportion of ammonium nitrogen was about 60% of the total wet nitrogen deposition. Comparison of annual precipitation of sulfur and total nitrogen with precipitation in 2021 and the values of critical loads for these elements allow us to conclude that sulfur deposition is significantly lower than the level of critical loads for the Western and Central regions of Russia, and is at or slightly higher (in some years) than the calculated criteria in the North-Western parts of the ETR. For nitrogen at the Northern EMEP stations, total precipitation is also close to critical values, which is an alarming signal given the current trends in nitrogen precipitation with precipitation increasing from year to year.

According to measurements in 2021, the average annual content of gas impurities in the air continued to increase compared to previous years only at EANET stations in the lake Baikal region. In 2021, there continued to be a decrease in the concentrations of nitrogen- and sulfur-containing aerosols in general at all stations in the lake Baikal region, at the Mondy station, nitrate concentrations were close to the level of the long-term average, and a significant decrease in the content of sulfates was noted in Primorye.

The snow cover monitoring data showed that in the winter period of 2020-2021, sulfur fluxes with atmospheric precipitation in most of the country amounted to less than $20 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$. On 60% of the territory of the Russian Federation, the intensity of nitrogen deposition is in the range of $10 - 15 \text{ kg / km}^2 \cdot \text{month}$. In more than 80 % of the territory of the Russian Federation, the average monthly pH indicator for the regions was in the range of 5.5-6.5 units.

According to the results of the monitoring in 2011-2021, 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.

The background content of mercury, lead, cadmium in surface waters of most regions of Russia corresponded to the intervals of values observed in recent years

Analysis of surface water quality by hydrochemical indicators showed that in 2021, compared to 2020, the water quality at water bodies with a high level of pollution changed little. The number of gates with a high level of water pollution on water bodies of the Russian Federation remained the same.

In 2021 based on the results of background observations of the content of chemicals in surface waters in the areas of EANET stations, there was increase in the content of basic ions (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+}) for the Komarovka river (Primorye) in the autumn. The trend of increasing acidity was also disrupted, and the average annual pH value was 7.91 (with a maximum of 8.40), which is significantly higher than the average value for the entire observation period. For the Pereemnaya river, the

levels of basic ions have generally remained stable over the past 10 years.

In the Barents, Baltic, Kara and East Siberian and Pacific hydrographic regions, ecosystems did not undergo major changes in all 11 background sites of selected water bodies in 2013-2021, variations in the composition of communities lay within the same water quality class. The state of ecological well-being is characteristic of 7 out of 13 background sites: the Lotta, Witte and Lower Chuna rivers (Lapland BZ) in the Barents Hydrographic Region, the Djida River of the lake basin. Baikal in the Kara hydrographic area, the Lena River delta (Ust-Lensky BZ) and in the Kopchik-Jurege in the East Siberian Hydrographic region. Of these, only 2 observed background points of the Lena River and the Kopchik-Jurege river showed no signs of anthropogenic impact. In other background objects there are signs of anthropogenic ecological stress of ecosystems to varying degrees.

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.

ОБЗОР ФОНОВОГО СОСТОЯНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА
ТЕРРИТОРИИ СТРАН СНГ ЗА 2021 г.

Подписано в печать 09.11.2022. Формат 60x90/8. Заказ №
2942.7.

Отпечатано в типографии ООО «Принт». 426035, г.
Ижевск, ул. Тимирязева, 5.

