

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 2019 г.

2020

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 2019 г.

Под редакцией
профессора Г.М. Черногаевой

2020

В Обзоре представлены обобщенные результаты фоновой мониторинга состояния природной среды на территории стран СНГ за 2019 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.

© - Росгидромет, 2020 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2020 г.

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

Фотография на обложке с официального сайта Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (http://clgz.ru/?page_id=2369)

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	16
1.2.3 Оптическая плотность и прозрачность атмосферы	22
1.2.4 Электрические характеристики приземного слоя атмосферы	27
1.3 Химический состав атмосферных осадков	31
1.3.1 Загрязняющие вещества в атмосферных осадках	31
1.3.2 Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	34
1.4 Загрязнение воздуха и осадков соединениями серы и азота по данным станций мониторинга ЕАНЕТ	43
1.5 Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих веществ.	46
2 ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	49
2.1 Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности	49
2.2 Содержание загрязняющих веществ в почвах по результатам наблюдательной сети Росгидромета	57
3 ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ	61
3.1. Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ	61
3.2. Данные станций гидрохимических наблюдений	62
3.3 Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ	67
3.4 Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям	74
4. МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ. Березинский биосферный заповедник (Республика Беларусь)	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
Список сокращений	95
Список авторов	96
Conclusions	97

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 имени академика Ю.А. Израэля» (ранее - ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской Академии Наук») поручено 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 2019 г." приняли участие:

Росгидромет: ФГБУ «ИГКЭ» – обобщение и анализ данных станций комплексного фонового мониторинга (СКФМ), мониторинга трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕМЕП), мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ), 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).

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

Список авторов разделов текста Обзора представлен на стр.96.

ВВЕДЕНИЕ

Первый выпуск «Обзора фоновое состояние 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 состояние 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 2020 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 состояние окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2019 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 2019 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 среды, подписание и реализация международных конвенций в области охраны природной среды и биоразнообразия ставит перед Правительством страны задачу осуществления постоянного мониторинга и периодической отчетности о состоянии объектов природного наследия. Сеть СКФМ на базе ООПТ федерального значения, имеющих международный статус, может стать важной составной частью единой государственной системы экологического мониторинга, обеспечить информационную поддержку при разработке и сопровождении масштабных проектов экономического и индустриального развития регионов.

Таблица 1. Состав сети фонового мониторинга Российской Федерации и стран СНГ в 2019 году

Станция мониторинга	Программа наблюдений	Федеральная ООПТ
Березинский заповедник	СКФМ,	Березинский БЗ
Приокско-Террасный БЗ (ст. Данки)	СКФМ, ЕМЕП, ГСА	Приокско-Террасный БЗ и охранный зона
Воронежский БЗ	СКФМ, ГСА	Воронежский БЗ
Кавказский БЗ	СКФМ, ГСА	Кавказский БЗ, ОВПН «Западный Кавказ»
Астраханский БЗ	СКФМ, ГСА	Астраханский БЗ
Яйлю (Алтайский БЗ)	СКФМ	Алтайский БЗ, ОВПН «Золотые горы Алтая»
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	-
Новопятигорск	ГСА	-
Мариинск	ГСА	-
Шаджатмаз	ГСА	-

1. АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ И ОСАДКИ

Оценка фоновое загрязнения атмосферного воздуха и осадков выполнена по данным сетей 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.

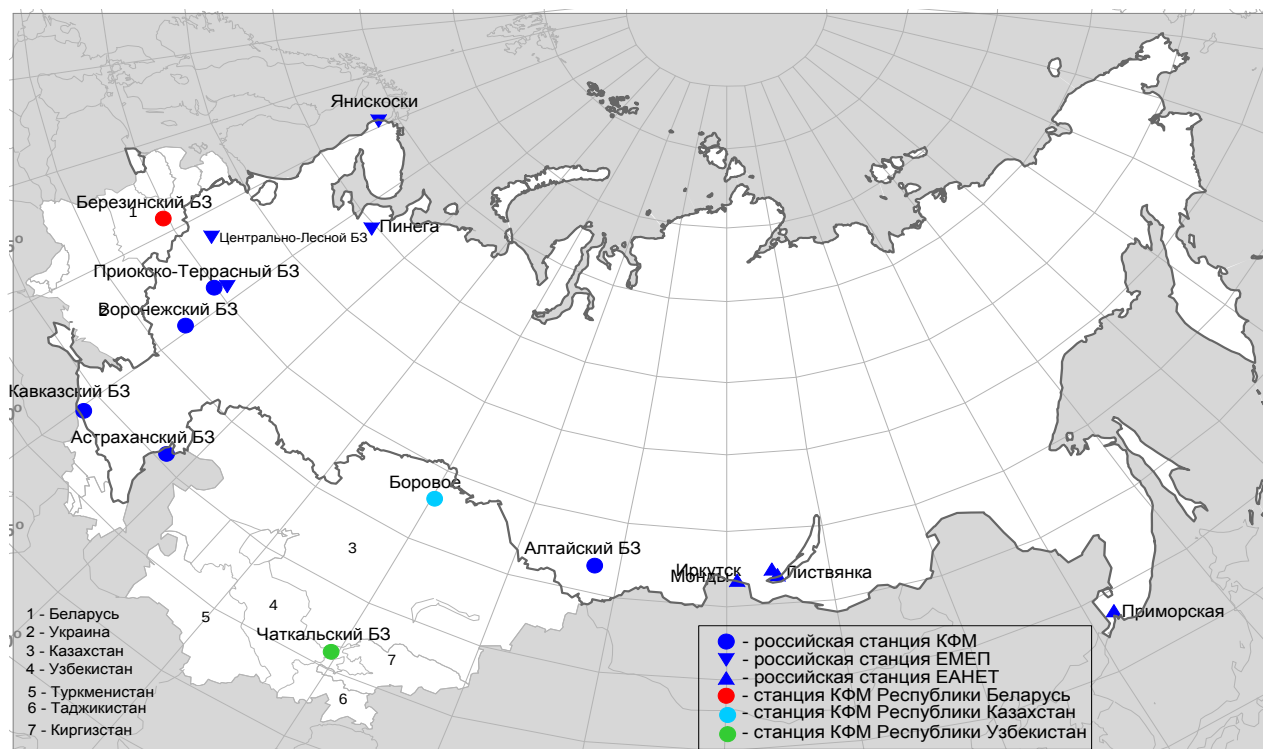


Рис. 1.1. Расположение станций фоновое мониторинга природной среды в СНГ

1.1. Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Оценка фоновое загрязнения атмосферного воздуха и осадков выполнена по данным сети станций комплексного фоновое мониторинга (СКФМ) и специализированных станций Глобальной службы атмосферы (ГСА ВМО). В 2019 г. наблюдения за фоновым загрязнением атмосферного воздуха проводились на четырех СКФМ, обеспечивая необходимый объем информации только для характеристики регионального фоновое загрязнения атмосферы в Центральных районах Европейской территории России (ЕТР).

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 2018 г. по сентябрь 2019 г. (геофизический год).

Тяжелые металлы. Среднегодовые концентрации свинца в воздухе фоновых районов ЕТР составили 2,0 – 3,1 нг/м³; значимых изменений его содержания в атмосфере фоновых

территорий по сравнению с 2018 г. не произошло, при отмечающемся в последние 6-8 лет снижении среднегодовых значений (рис. 1.1.1).

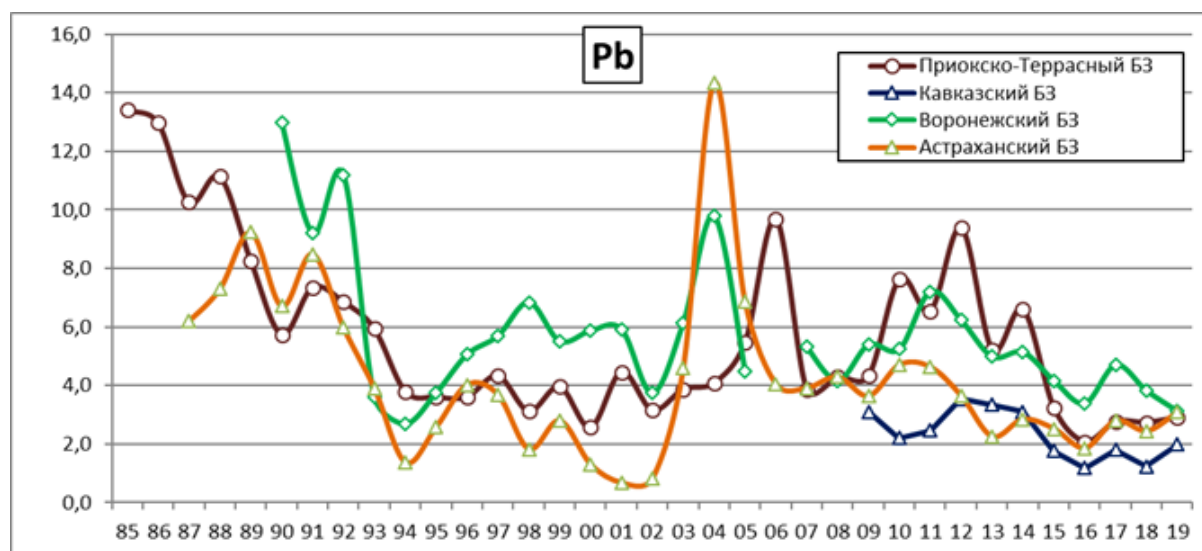


Рис. 1.1.1 Изменение среднегодового содержания свинца в атмосферном воздухе фоновых районов

Среднегодовые концентрации кадмия в атмосферном воздухе в центральных районах ЕТР сохранились на уровне, наблюдавшемся в последние годы, и в 2019 г. почти не превышали $0,1 \text{ нг/м}^3$. На юге ЕТР, в Астраханском БЗ продолжают регистрироваться повышенные уровни концентраций кадмия, что характерно для результатов наблюдений во всех средах на протяжении десятилетия (табл. 1.1.1).

В отдельные дни содержание в воздухе свинца и кадмия находилось существенно выше среднегодовых значений, максимальные среднесуточные концентрации свинца – до 83 нг/м^3 и кадмия – 11 нг/м^3 , наблюдались в Астраханском БЗ.

Фоновое среднее содержание ртути в атмосферном воздухе, измерения которого проводится только в центральном районе ЕТР, сохраняется ниже 5 нг/м^3 : в 2018-2019 геофизическом году среднегодовая концентрация ртути составила $4,3 \text{ нг/м}^3$ (табл. 1.1.1).

Хлорорганические пестициды. В 2018-2019 гг. на ЕТР среднегодовые значения фоновых концентраций сумм изомеров ГХЦГ и ДДТ в воздухе сохранились низкими, на уровне, близком к пределу обнаружения аналитическими методами (как и прошлые годы измерения от 30 до 50% проб были ниже предела обнаружения). В целом в 2019 г. содержание пестицидов в воздухе находилось в пределах изменений уровней их концентраций за последние 10 лет.

Взвешенные частицы. В 2018-2019 гг. среднегодовые концентрации взвешенных частиц в воздухе на ЕТР изменялись в пределах $16\text{--}28 \text{ мкг/м}^3$, что соответствует уровню значений последних 10 лет (табл. 1.1.1, рис. 1.1.2). Эпизодическое повышение концентраций взвешенных частиц наблюдалось в теплый период года: отдельные максимальные среднесуточные концентрации превышали 160 мкг/м^3 на всех фоновых станциях (табл. 1.1.1). Сезонные изменения содержания взвешенных частиц в атмосфере имеют ярко выраженный максимум в летний период, что обусловлено влиянием природных факторов.

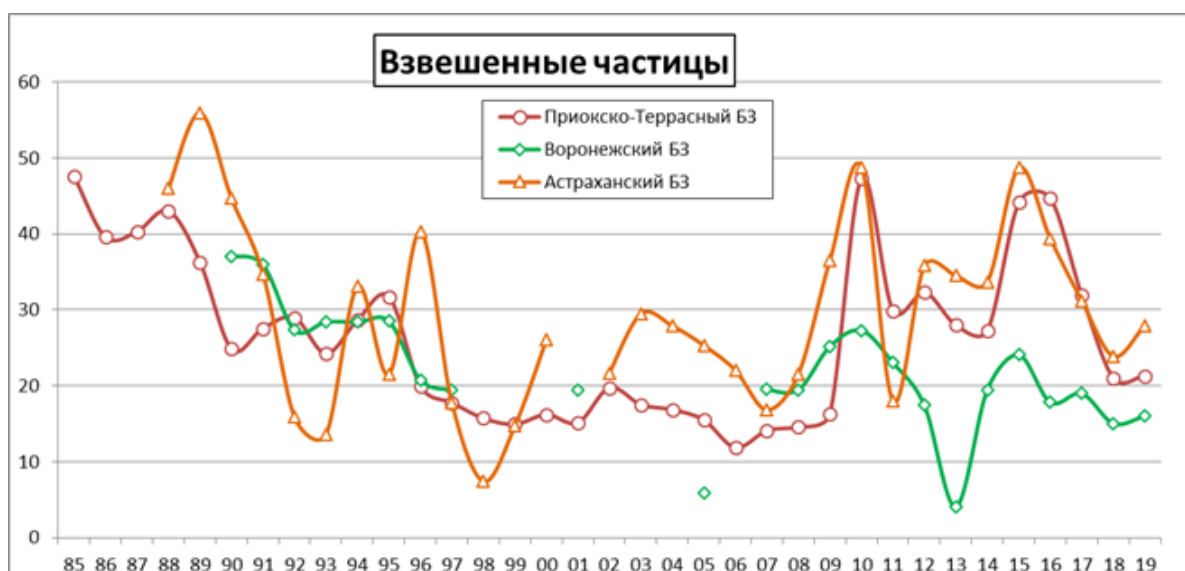


Рис. 1.1.2 Изменение среднегодового взвешенных частиц (мкг/м³) в атмосферном воздухе фоновых районов

Диоксид серы. В 2018-2019 гг. среднегодовые фоновые концентрации диоксида серы на станциях ЕТР сохранились на низком уровне – около 0,03–0,44 мкг/м³ (рис. 1.1.3). В холодный период года наблюдались более высокие концентрации диоксида серы, увеличиваясь в отдельные сутки до 7,6 мкг/м³ в центре ЕТР (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.

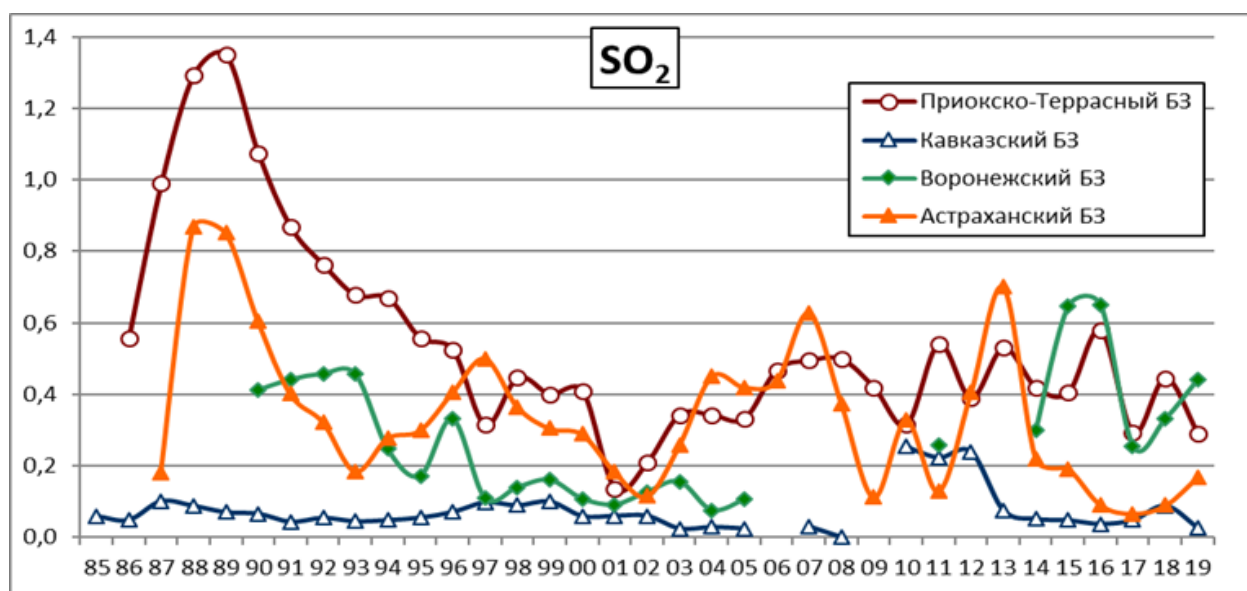


Рис. 1.1.3 Изменение фоновое содержание диоксида серы в атмосферном воздухе фоновых районов (мкг/м³)

Диоксид азота. В 2018-2019 гг. среднегодовые фоновые концентрации диоксида азота в воздухе на европейской территории сохранились на уровне прошлых лет, варьируя от 1,21 до 4,93 мкг/м³ (рис. 1.1.4). Сезонные изменения фоновых концентраций диоксида азота ясно

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

Сульфаты. В 2018-2019 гг. среднегодовые фоновые концентрации сульфатов в центре ЕТР составляли около $0,68 \text{ мкг/м}^3$, при этом значения меньше 3 мкг/м^3 были зарегистрированы в 95% измерений. В южных районах ЕТР среднегодовые концентрации были несколько ниже, чем в центре ЕТР - около $0,5 \text{ мкг/м}^3$ (рис. 1.1.5). В целом, относительно повышенные концентрации сульфатов в центре ЕТР характерны для холодного периода года, в южных районах для теплого периода.

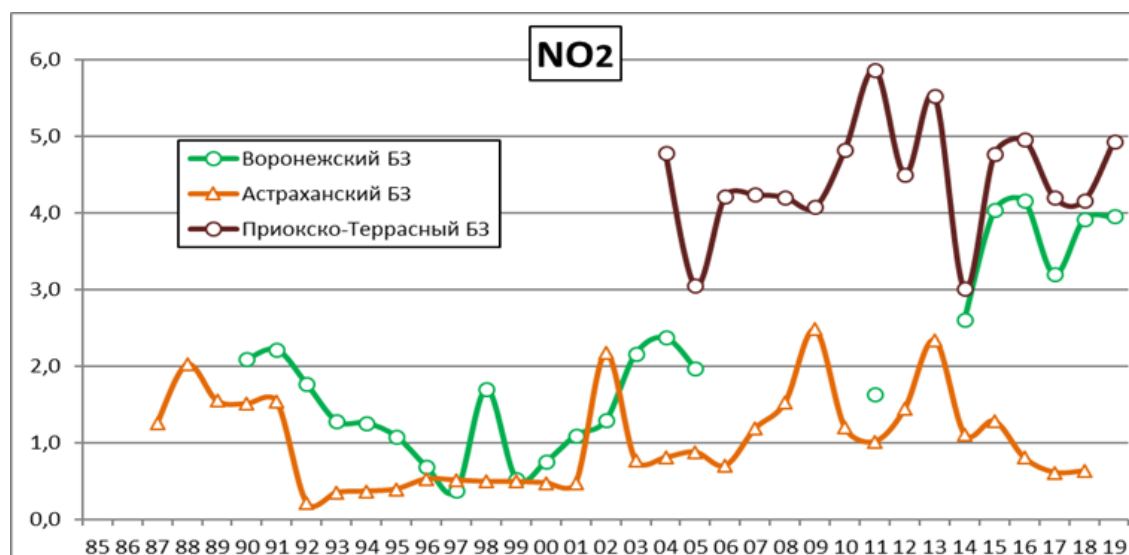


Рис. 1.1.4 Изменение фоновое содержание диоксида азота в атмосферном воздухе фоновых районов (мкг/м^3)

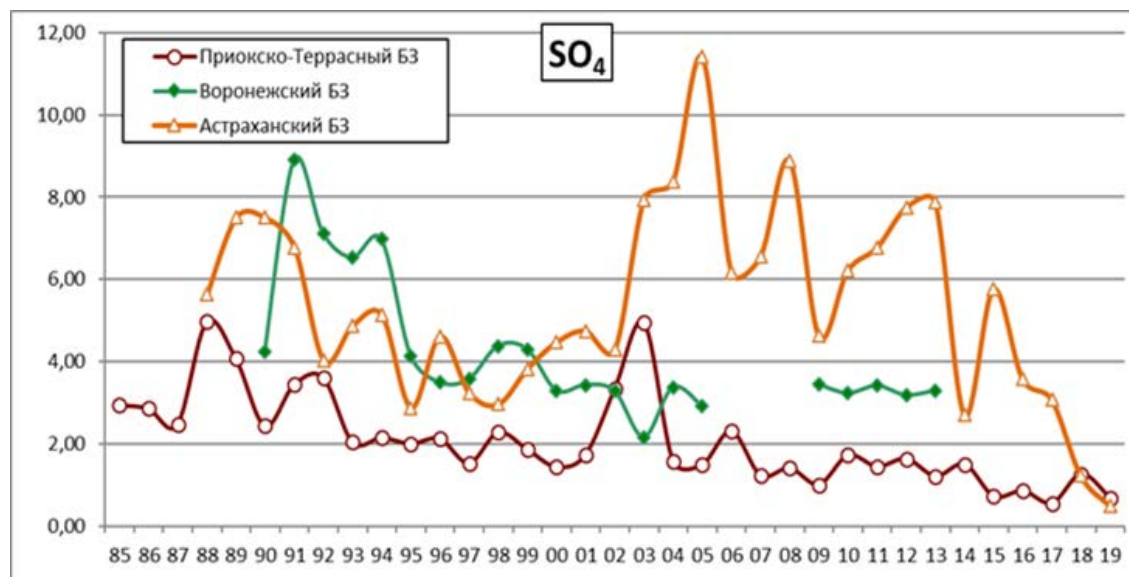


Рис. 1.1.5 Изменение фоновое содержание сульфатов в атмосферном воздухе фоновых районов (мкг/м^3)

Значительные межгодовые колебания средних концентраций не позволяют однозначно охарактеризовать тренды изменений, хотя можно проследить стабилизацию уровней содержания сульфатов в центре ЕТР за последние 10 лет после их уменьшения в предыдущие

ГОДЫ.

Таблица 1.1.1 Результаты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха на станциях комплексного фонового мониторинга в 2018-2019 гг. (числитель – среднегодовое значение, знаменатель – интервал изменений суточных концентраций)

Загрязняющие вещества	Приокско-Тerrasный БЗ	Воронежский БЗ	Астраханский БЗ	Кавказский БЗ
Pb, нг/м ³	<u>2,91</u> 0,25-16,6	<u>3,13</u> 0,23-22,9	<u>3,08</u> 0,05-83,0	<u>1,98</u> 0,05-10,1
Cd, нг/м ³	<u>0,091</u> 0,006-0,62	<u>0,094</u> 0,001-0,23	<u>0,66</u> 0,084-11,0	<u>0,091</u> 0,002-2,20
Hg, нг/м ³	<u>4,29</u> 0,062-36	- *)	-	-
SO ₂ , мкг/м ³	<u>0,29</u> 0,1-7,6	<u>0,44</u> 0,02-2,82	<u>0,17</u> 0,01-1,34	<u>0,026</u> 0,01-0,4
NO ₂ , мкг/м ³	<u>4,93</u> 0,7-23,1	<u>3,95</u> 1,09-12,76	<u>1,21</u> 0,04-5,27	-
SO ₄ , мкг/м ³	<u>0,68</u> 0,02-30,6	-	<u>0,48</u> 0,04-7,30	-
Взвешенные частицы, мкг/м ³	<u>21,3</u> 3,0-167,0	<u>16,0</u> 8,0-160,0	<u>27,9</u> 1,3-176,6	-

*) Измерения в 2019 г. не проводились

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. Характеристики расположения и деятельности станций приведены в табл. 1.2.1.1. Станция Териберка (Кольский полуостров, побережье Баренцева моря) и станция Тикси (Арктическое побережье, море Лаптевых, залив Сого) размещены в условиях, близких к фоновым. Станция Новый Порт (полуостров Ямал, берег Обской губы) и Воейково (пригород Санкт-Петербурга) находятся в районах влияния крупномасштабных антропогенных источников парниковых газов. Для сравнения привлечены данные станции ГСА-ВМО Барроу, расположенной на северном побережье Аляски в арктических широтах (71,32° с.ш., 156,6° з.д.).

Данные станций Териберка и Тикси передаются ГГО в Мировой центр данных ВМО (МЦД) по парниковым газам (WDCGG, Японии), где используются при проведении глобального анализа полей концентраций указанных газов. Данные станции Барроу представляет в МЦД Национальная Администрация по Океану и Атмосфере США (NOAA).

Таблица 1.2.1.1 Станции наблюдений за парниковыми газами ГГО

Станция	Широта	Долгота	Высота над у.м.	Период наблюдений	Программа наблюдений
Териберка	69° 12' с.ш.	35° 06' в.д.	40	с 1988 г.	CO ₂ , CH ₄ с 1996 г.
Новый Порт	67° 41' с.ш.	72° 53' в.д.	11	с 2002 г.	CO ₂ , CH ₄
Воейково	59° 57' с.ш.	30° 42' в.д.	72	с 1996 г.	CH ₄
Тикси	71° 35' с.ш.	128° 55' в.д.	15	с 2011 г.	CO ₂ , CH ₄

Результаты измерений на двух фоновых станциях (Териберка и Тикси) за последние 11 лет приведены в табл. 1.2.1.2. Изменения концентраций парниковых газов для этих станций от года к году показаны на рис. 1.2.1.1 в сравнении с данными станции Барроу (Аляска).

Таблица 1.2.1.2 Среднегодовые значения и межгодовые изменения (Δ) концентраций CH₄ и CO₂

Год	Териберка				Тикси			
	CH ₄ , млрд ⁻¹	Δ CH ₄ , млрд ⁻¹	CO ₂ , млн ⁻¹	Δ CO ₂ , млн ⁻¹	CH ₄ , млрд ⁻¹	Δ CH ₄ , млрд ⁻¹	CO ₂ , млн ⁻¹	Δ CO ₂ , млн ⁻¹
2009	1904,4	10,1	390,1	2,1				
2010	1905,5	1,1	392,3	2,1				
2011	1906,2	0,8	394,1	1,8	1913,2		394,2	
2012	1910,2	4,0	396,4	2,4	1910,2	-3,0	396,1	1,9
2013	1907,8	-2,4	398,6	2,2	1915,1	4,9	399,1	3,0
2014	1913,5	5,7	400,5	1,9	1930,8	15,7	400,7	1,6
2015	1924,4	10,9	402,0	1,5	1940,1	9,3	403,2	2,5
2016	1946,7	22,3	405,5	3,5	1946,4	6,3	406,1	2,9
2017	1947,1	0,4	409,0	3,5	1956,7	10,3	408,7	2,6
2018	1950,4	3,3	411,1	2,1	1960,4	3,7	411,3	2,6
2019	1965,1	14,7	414,3	3,2	1983,7	23,3	414,3	3,0

В 2019 г. концентрация CO₂ продолжила свой рост, обновив очередные максимумы. В Териберке и Тикси среднегодовое значение CO₂ составило 414,3 млн⁻¹, за год увеличившись на 3,2 млн⁻¹ и 3,0 млн⁻¹ соответственно. Максимум средней за месяц концентрации CO₂ в Тикси пришелся на февраль (421,2 млн⁻¹), а в Териберке на декабрь (423,4 млн⁻¹). Минимум

наблюдался в августе и составил $400,1 \text{ млн}^{-1}$ и $400,5 \text{ млн}^{-1}$ в Тикси и Териберке соответственно. Рост концентрации диоксида углерода, зафиксированный на российских фоновых станциях, связан, главным образом, с увеличением антропогенных выбросов CO_2 . В 2018 г. величина роста глобальной эмиссии CO_2 с учетом как источников, так и стоков, составила $5,1 \pm 0,2 \text{ ГтС/год}$, что соответствует росту средней глобальной концентрации диоксида углерода $2,4 \pm 0,1 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$.

За период с 2009 по 2019 гг. концентрация CO_2 в Териберке увеличилась на $24,2 \text{ млн}^{-1}$.

За период с 2009 по 2019 гг. концентрация CH_4 увеличилась на $60,7 \text{ млрд}^{-1}$. Ее возрастание в 2019 г. на станции Териберка составило $14,7 \text{ млрд}^{-1}$ и $23,3 \text{ млрд}^{-1}$ на станции Тикси.

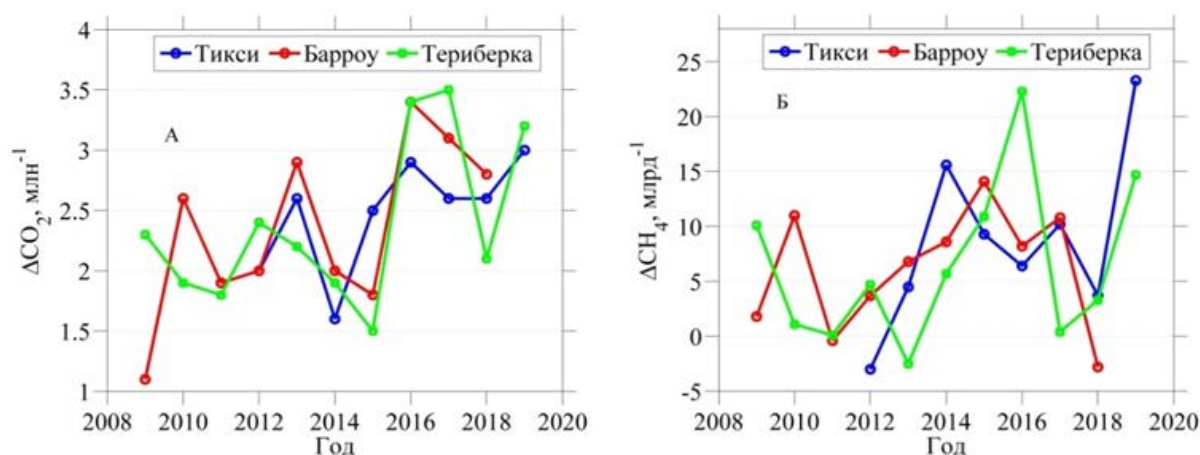


Рис. 1.2.1.1. Межгодовые изменения концентрации CO_2 (А) и CH_4 (Б)

Сезонный ход метана, также, как и диоксида углерода, формируется преимущественно за счет естественных факторов. В Северном полушарии минимум сезонного хода CH_4 приходится на летние месяцы, когда фотохимический сток в виде реакций метана с гидроксильным радикалом максимален. Но так как Тикси расположена в месте, где эмиссия метана от природных источников в теплые месяцы (июль-сентябрь) может сильно проявляться, особенно при малых скоростях ветра, то максимум измеряемой концентрации может переместиться с «зимы» на «лето». Такое явление наблюдалось в 2018 г. и повторилось в 2019 г. Влияние природных региональных источников привело к тому, что максимум средней за месяц концентрации CH_4 $2020,8 \text{ млрд}^{-1}$ на станции Тикси был зафиксирован в августе. На станции Териберка, где естественная эмиссия метана меньше, чем в Тикси, минимум CH_4 $1938,9 \text{ млрд}^{-1}$ наблюдался в июне, а максимум $2005,7 \text{ млрд}^{-1}$ пришелся на декабрь. На рис. 1.2.1.3 представлены среднемесячные концентрации метана для 2016-2019 гг., кривая «Тикси-2018а» показывает сезонный ход с учетом высоких значений концентрации CH_4 в августе.

Влияние источников парниковых газов, действующих в районах расположения станций, на основе определения превышения концентрации над фоновым уровнем, представлено для станций Новый Порт, Воейково (обе до 2019 г.) и Санкт-Петербург (до 2018 г.) на рис. 1.2.1.4 и в табл. 1.2.1.3. При определении превышения в качестве фонового уровня использованы данные (средние за месяц) станции Териберка.

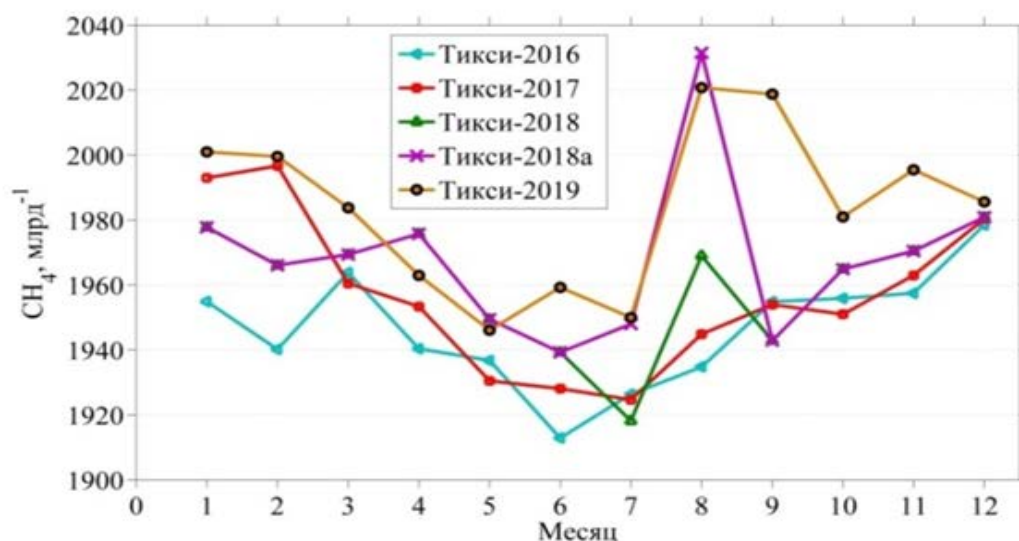


Рис. 1.2.1.3. Сезонный ход концентрации CH_4 на станции Тикси

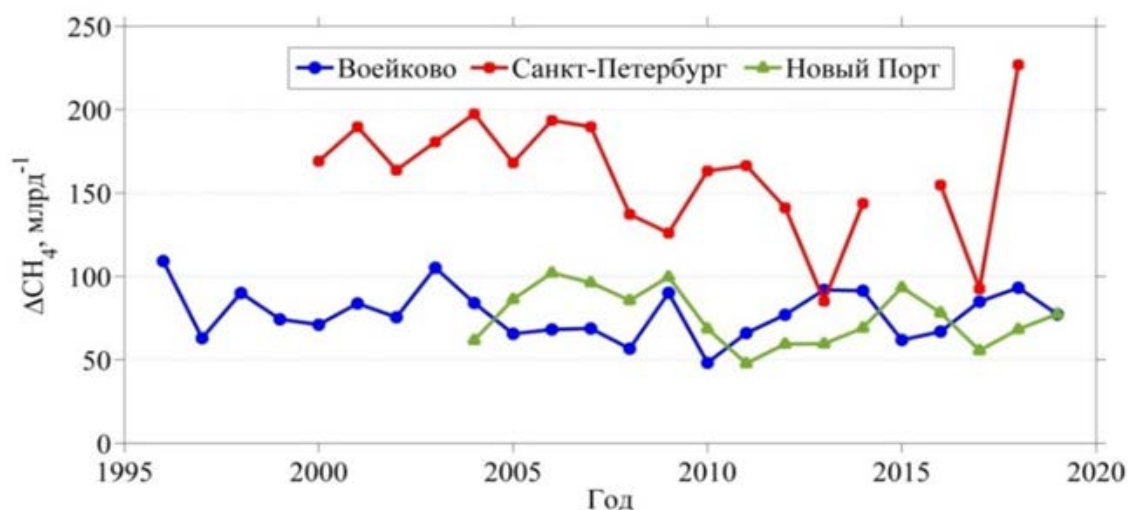


Рис. 1.2.1.4 Среднегодовые превышения концентраций CH_4 над фоновым уровнем

Таблица 1.2.1.3 Средние превышения концентраций парниковых газов над фоновым уровнем

	Превышение концентрации CH_4				Превышение концентрации CO_2			
	млрд ⁻¹	%	млрд ⁻¹	%	млн ⁻¹	%	млн ⁻¹	%
	Новый порт				Новый порт			
Период осреднения	2004-2019		2019		2004-2019		2019	
	75,6	4,0	77,4	3,9	5,0	1,2	3,1	0,8
	Воейково							
Период осреднения	1996-2019		2019					
	77,7	4,1	77,3	3,9				
	Санкт-Петербург							
Период осреднения	2000-2018		2018					
	165,9	8,7	223,7	11,5				

Станция Новый Порт расположена на побережье Обской губы на расстоянии 80–250 км от крупнейших в РФ месторождений природного газа и в 20 км от нефтяного месторождения «Новопортовское». Зарегистрированные на данной станции в зимний период максимальные

концентрации метана и CO_2 , достигающие 150 млрд^{-1} и 10 млн^{-1} соответственно, наиболее вероятно обусловлены снижением высоты слоя перемешивания атмосферы и поступлением ПГ от природных и антропогенных источников, включая месторождения природного газа и нефти в Западной Сибири.

Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем в 2019 г. отмечалось на станциях Новый порт и Воейково, однако не выходило за пределы наблюдаемых за многолетний период вариаций. Превышение концентрации CH_4 в Санкт-Петербурге характеризуется большим разбросом значений от 90 до 227 млрд^{-1} , что может быть связано с большим количеством источников метана в городе и их неоднородным распределением.

1.2.2. Общее содержание озона.

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

ОСО является важнейшей характеристикой озонового слоя, которая определяет поглощение ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца в области длин волн 290 - 315 нм (так называемая УФ-Б область). Количественно ОСО выражают приведенной толщиной слоя озона, которая получилась бы, если весь содержащийся в атмосфере озон привести к нормальному давлению и температуре 0°C . В среднем по земному шару она равна 3 мм, но может изменяться от 1 мм (в Антарктиде в период весенней озоновой аномалии) до 6 мм (в конце зимы – начале весны над Дальним Востоком). ОСО измеряют в так называемых единицах Добсона (ед.Д.); приведенная толщина слоя озона 3 мм соответствует 300 ед.Д.

Проведён анализ среднемесячных значений отклонений ОСО от нормы по данным реанализа ERA INTERIM. Многолетние среднемесячные значения (нормы) рассчитаны за период 1979-1999 гг. на глобальной сетке $0,750 \times 0,750$. Для анализа информации 2019 г. были использованы данные реанализа ERA5.

Отклонения среднемесячных значений ОСО над территорией России от нормы находятся в интервале от -8% до +37%.

Над территорией России наибольший дефицит среднемесячного значения ОСО (-7,6%) был зарегистрирован в декабре (рис. 1.2.2.1) область около 67° с.ш. и 90° в.д. Максимальное превышение среднемесячного значения ОСО над нормой (37%) было зарегистрировано в январе выше 70° с.ш. от западной границы РФ до 110° в.д.

Дефицит среднемесячного значения ОСО на 8% в декабре составил только 1,817 от стандартного отклонения в наблюдаемых районах для данных месяцев. Дефицит порядка 5% в октябре и ноябре в обширном регионе севернее Каспийского и Черного морей составил 1,6 стандартных отклонения и является самой значительной аномалией ОСО над территорией России в 2019 г.

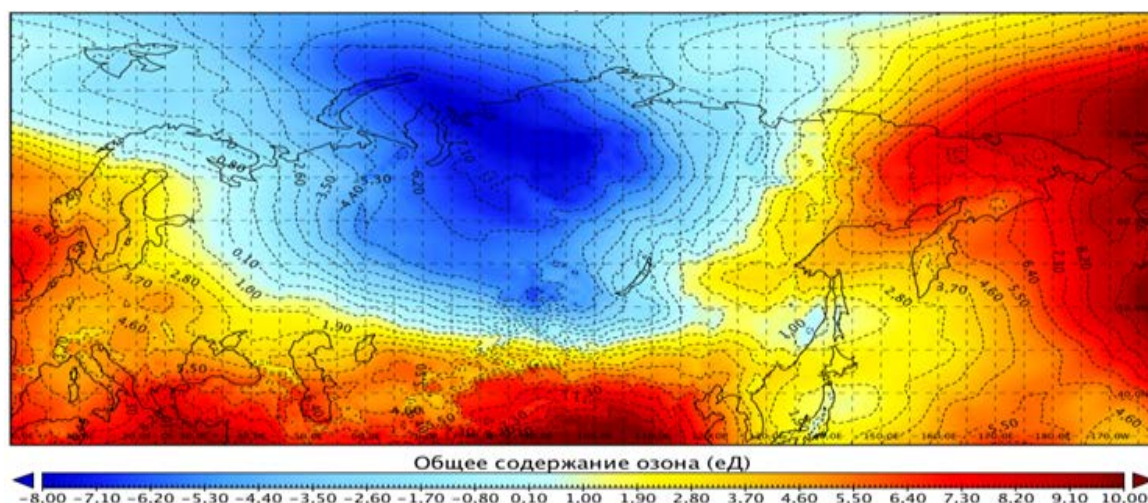


Рис. 1.2.2.1. Поле отклонений (%) общего содержания озона в декабре 2019 г. от среднемесячных многолетних значений (1979-1999 гг.)

Особенности зимнего сезона 2018-2019 гг.

Основным событием зимнего сезона 2018-2019 гг. в стратосфере Арктики стало главное внезапное стратосферное потепление (ВСП) с разделением полярного вихря в нижней стратосфере в конце декабря - начале января. В средней – верхней стратосфере полярный вихрь быстро восстановился: с середины января и до середины марта отрицательные аномалии температуры достигали до -20° , а скорость среднезонального ветра до 120-140 м/с. В течение нескольких дней в середине марта 2019 г. в средней стратосфере Арктики минимальные температуры были ниже, чем в этот период в самые холодные зимние сезоны за последние 25 лет. Можно предположить, что восстановление полярного вихря после ВСП в средней и верхней стратосфере обусловлено заниженным распространением волновой активности из нижней стратосферы – верхней тропосферы с начала января до середины марта, а также ее отражением вниз в первой половине января.

В зимний сезон 2018-2019 гг. главное ВСП произошло раньше (в конце декабря – начале января), когда температура внутри стратосферного полярного вихря ещё не достигла пороговых значений образования полярных стратосферных облаков (ПСО), что исключило условия для разрушения озона.

В результате проведенного анализа полей отклонений ОСО от средних многолетних значений над территорией РФ в 2019 г. повышенные значения ОСО наблюдались в феврале, апреле, мае и сентябре. Максимальные значения ОСО наблюдались над Томской и Иркутской областью, Красноярским краем и Новой Землей: 1-3 мая превышение нормы на 20%-22% (3 мая до 540 е.Д.).

Пониженные значения ОСО были зафиксированы:

Январь. 3-4.01 над районами Хабаровского, Амурского и Забайкальского краев до -26% и -24% (до 320 е.Д.) соответственно, над районами Иркутской области и Бурятии 21-26.01 на -20% - -32% (280 е.Д.);

Февраль. 3-9.02 над Крымом, Краснодарским и Ставропольским краями, Ростовской областью на -18% - -30% (до 270 е.Д.), над Иркутской областью и Бурятией 25.02 на -20% (до 350 е.Д.);

Март. 22-31.03 на -20% - -28% над Тюменской областью, Красноярским краем,

Иркутской областью и западными районами Якутии, 31.03 - до -28% (до 350 е.Д.)

Апрель. 4-8.04 и 29-30.04 над Чукоткой, севером Камчатки, Магаданской областью и северо-восточными районами Якутии на -22% - -26% (до 350 е.Д.);

Май. 9-15.05 над центральными и северными районами европейской части РФ до -20% (до 310 е.Д.), над Камчаткой и северными Курилами 28-31.05 до -24% (320 е.Д.);

Июнь. 1-3.06 над Камчаткой и южными районами Чукотки до - 19% (320 е.Д.), 12.06 над Крымом на - 16% (до 305 е.Д.), 15-17.06 над севером Иркутской области и юго-западном Якутии на - 16% (до 315 е.Д.);

Июль. 14-22.07 на -14% - -19% (до 260 е.Д.) над Ямало-Ненецким и Ханты-Мансийским автономными округами, северными районами Красноярского края и северо-восточными районами Якутии, 21-22.07 над югом Хабаровского края и Сахалином на -15% - -19% (до 275 е.Д.), 27.07 над Курилами на - 16% (до 280 е.Д.);

Август. 16-23.08 над южными, юго-восточными и центральными районами европейской части РФ на -14% - -19% (до 275 е.Д.), 14-19.08 над Хабаровским краем на - 14% - - 18% (до 260 е.Д.), 17.08 над Сахалином на - 18% (до 260 е.Д.), 19-23.08 над Магаданской областью, восточной Якутией, западными и южными районами Чукотки и северными районами Камчатки на -14% - -21% (до 245 е.Д.);

Сентябрь. 7-8.09 над центральными и южными районами Хабаровского края и Сахалином на - 18% - - 26% (до 255 е.Д.), 20-26.09 над Иркутской областью, республикой Бурятия, Забайкальским краем от -16% до -20% (до 265 е.Д.) и 26-30.09 над Забайкальским краем, Амурской областью и Центральными районами Хабаровского края на - 16% - -20% (275 е.Д.);

Октябрь. 25-29.10 над центральными районами европейской части РФ и восточной Сибирью на -14% - -26% (220 е.Д.), 18-27.10 над Якутией, Чукоткой, Камчаткой, Сахалином и Хабаровским краем от -14% до -20% (300 е.Д.);

Ноябрь. 2-10.11 над северными районами Европейской части РФ, Сибири, Урала до -20% (360 е.Д.), а также 11.11 над северными районами Иркутской области, юго-восточными районами Красноярского края и юго-западными районами Якутии до -22% (380 е.Д.). Над Крымом и южными районами Европейской части РФ 6-10.11 до -18% (250 е.Д.) и 14-25.11 над северными, центральными и южными районами Европейской части РФ до -26% (220 е.Д.), 27.11 над Мурманской областью и Карелией до -22% (230 е.Д.), 28-30.11 над северными районами Европейской части РФ и западной Сибири до -24% (220 е.Д.);

Декабрь. 1-14.12 и 25-31.12 над Западно-Сибирским и Восточно-Сибирским регионами, а также республикой Саха (Якутия). При этом пониженные значения ОСО достигали 12.12 - до - 30% (240 е.Д.), 31.12 - до -28% (260 е.Д.).

Особенности состояния озонового слоя над регионами РФ

Измерения ОСО на территории РФ

Анализ полученных результатов измерений ОСО на озонотрических станциях России в 2019 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 территории России (Север ЕТР), Юг Европейской территории России (ЮГ ЕТР), Западная Сибирь (ЗС), Восточная Сибирь (ВС) и Дальний Восток (ДВ).

Использование на сети фильтровых озонотрических М-124 с единой методикой измерений,

постоянный контроль и отбор достоверной информации позволяют получать данные ОСО с высокой степенью надежности. ГСА ВМО признала данные сети фильтровых озонметров, наряду с данными спектральных озонных спектрофотометров Добсона и Бруера, пригодными для оценки трендов и тенденций состояния озонового слоя над Северным полушарием.

В настоящем обзоре использованы данные озонметрических станций, которые соответствуют нормам качества, удовлетворяющим требованиям ВМО. Продолжительность наблюдений ОСО, выполненных по одной методике, составляет 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. 1.2.2.1).

Таблица 1.2.2.1. Общее содержание озона в различных регионах России в 2019 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 2019 г., е.Д.*</i>													
Сев. ЕТР	412	389	417	356	392	351	336	325	296	285	271	297	344
Юг ЕТР	362	364	387	381	350	336	338	315	317	291	296	328	339
ЗС	373	411	400	420	395	363	325	318	316	292	309	281	350
ВС	403	426	438	448	414	352	325	316	314	312	345	333	369
ДВ	423	465	462	425	383	377	344	316	319	332	377	426	387
<i>Отклонения ОСО в 2019 г. от нормы, %</i>													
Сев. ЕТР	21.6	2.7	6.7	-10.7	3.3	0.0	1.3	3.1	-1.5	-1.6	-5.6	-4.8	1.2
Юг ЕТР	4.4	-2.1	1.8	0.7	-4.4	-4.1	1.7	-1.9	2.7	-1.9	-1.5	2.8	-0.1
ЗС	3.4	7.3	1.7	7.2	3.7	2.7	-2.6	-0.9	2.4	-1.9	2.9	-13.0	1.1
ВС	3.8	2.7	2.2	4.6	3.2	-1.7	-0.6	0.0	0.0	-0.5	6.8	-2.2	1.5
ДВ	-1.3	3.8	1.9	-1.5	-3.6	4.8	4.1	1.4	0.7	0.2	3.8	8.3	1.9
<i>Норма, е.Д. и среднеквадратические отклонения, %</i>													
Север ЕТР	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 ЕТР	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.

Многолетние вариации ОСО над территорией РФ

Наличие норм позволяет объективно оценить долговременные изменения толщины защитного озонового слоя, тренды и тенденции в содержании озона за 45-летний период.

Среднегодовые значения ОСО над территорией РФ в целом за 1973–2019 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);
- 1996–2019 гг. – существенные межгодовые колебания при незначительном общем тренде. Среднее значение ОСО (349 е.Д.) несколько ниже нормы, общее падение ОСО (- 0,4 е.Д./год).

В 1992–1995 гг. наблюдалась минимальная толщина озонового слоя.

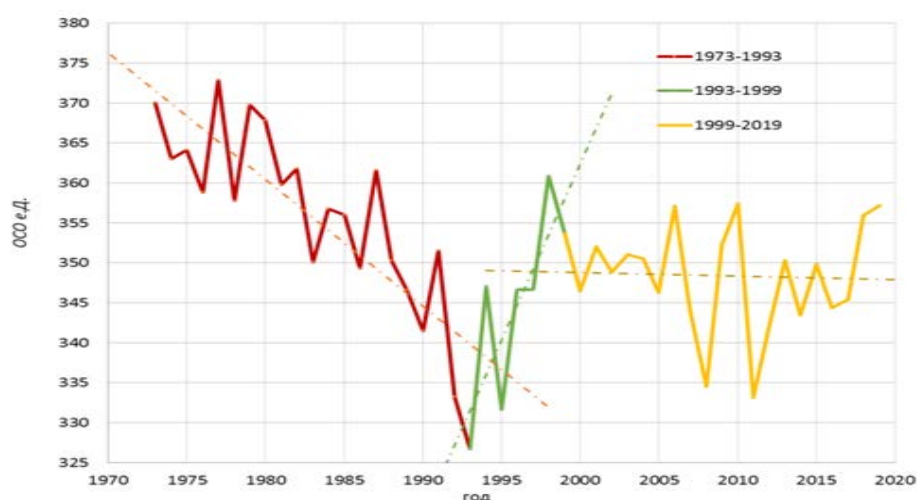


Рис. 1.2.2.2. Среднегодовые значения ОСО над территорией РФ в период 1973–2019 гг.
Вариации поля ОСО над регионами РФ в 2019 г.

С 2016 года зафиксирован устойчивый рост среднегодовых значений, что может являться признаком начала нового периода.

В течение 1973–2019 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%).

В течении 45 лет наблюдений ОСО над РФ 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.

Результаты расчета среднемесячных значений ОСО над регионами РФ в 2019 г. и их отклонения от нормы приведены в табл. 1.2.2.1 и представлены на рис. 1.2.2.3.

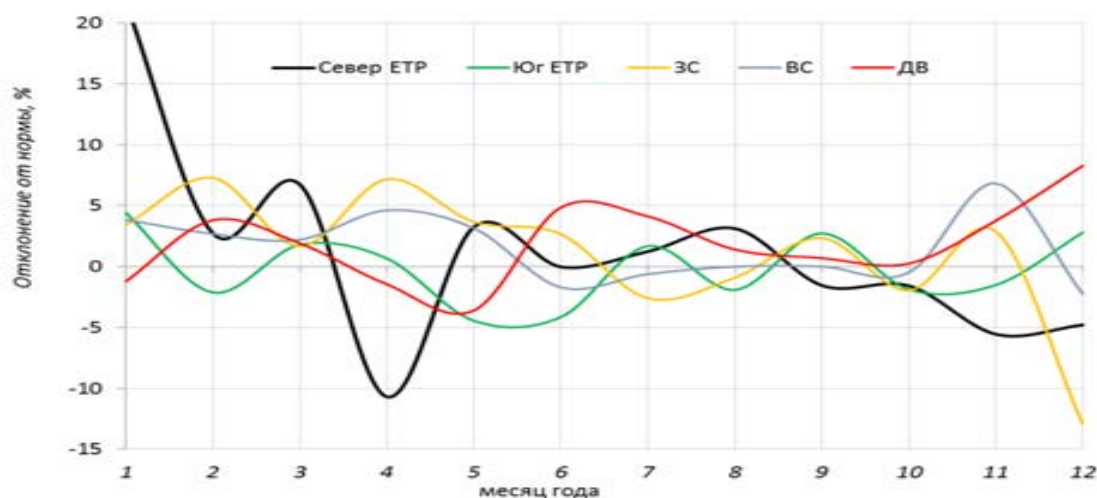


Рис. 1.2.2.3. Отклонения среднемесячных значений ОСО от норм по регионам РФ в 2019 г.
(Север ЕТР – Север Европейской территории России, Юг ЕТР – Юг Европейской территории России,

На Севере ЕТР среднегодовой уровень ОСО в 2019 г. был немного выше нормы (1,2%). В то же время отмечались резкие колебания ОСО в течение года. В конце января наблюдались аномально высокие значения ОСО, отклонения от нормы составляли около 40%. Среднее значение ОСО за месяц превысило норму на 20%. В феврале–марте значения ОСО оставались в пределах нормы. Во второй половине апреля отклонения от нормы составляли около 20%, в среднем за месяц значение было на 10% ниже нормы. В период с мая по октябрь – в пределах нормы. Среднемесячные значения ОСО для Севера ЕТР в ноябре и декабре были ниже нормы. Отклонение средних значений составило около 5%.

На Юге ЕТР среднегодовой уровень ОСО был очень близок к норме (-0,1%). Несколько повышенные значения ОСО наблюдались в январе (+4,4%). В мае-июне содержание озона было ниже нормы на 4,4% и 4,1% соответственно, а в остальное время значения ОСО были близки к норме.

Над Западной Сибирью среднегодовой уровень ОСО был несколько выше нормы (+1,1%). В первой половине года над регионом сохранялись устойчиво повышенные значения озона с максимальными отклонениями (7,3%), с июня по ноябрь значения ОСО над регионом были близки к норме или незначительно снижены. В период с мая по ноябрь отклонения от норм не превышали статистически ожидаемых значений. В декабре среднемесячные значения были существенно ниже нормы (- 13%).

Над Восточной Сибирью среднее за год содержание озона было выше нормы на +1,5%. Первая половина года характеризовалась повышенными относительно нормы значениями ОСО. Значительно повышены среднемесячные значения ОСО были в январе (+3,8%) и в апреле (+4,6%). С июня по ноябрь значения ОСО над регионом близки к норме или незначительно ниже. В ноябре было зафиксировано максимальное превышение нормы (+6,8%), в декабре – в пределах нормы.

На Дальнем Востоке состояние озонового слоя было очень изменчивым, но до декабря 2019 г. не наблюдалось столь значительных, как в остальных регионах, отклонений от нормы. Наиболее значимые превышения нормы имели место в феврале (+3,8%), июне (+4,8%), июле (+4,1%), а низкие значения - в мае (-3,6%). В декабре, благодаря преимущественному расположению арктического антициклона и его величине, среднемесячное значение ОСО оказалось значительно выше нормы (+8,3%). Среднее по региону за год значение ОСО было несколько выше нормы (+1,9%).

Над всей территорией РФ в 2019 г. средняя за год толщина озонового слоя составила 358 е.Д. и оказалась выше нормы (353 е.Д.) всего на 1,2%.

Поле ОСО и особенности циркуляции 2019 г.

Как правило, все аномалии, наблюдаемые в поле озона Северного полушария, связаны с особенностями общей циркуляции в нижней стратосфере и верхней тропосфере, характерными для рассматриваемого периода. В зимнее полугодие глубокий циркумполярный вихрь с очень низким содержанием озона и низкой температурой располагается в околополярной зоне и немного смещен к Северной Атлантике. В тоже время в течение зимы над Сибирью, Дальним Востоком и Востоком Канады устанавливается высотный антициклон с высоким содержанием озона и высокой температурой.

Распределение ОСО над территорией РФ и его вариации в 2019 г. имели ряд

значительных особенностей. В начале января полярный антициклон значительно превосходил по размерам и практически «выдавил» циркумполярный вихрь в сторону Западной Европы и Атлантики. К середине месяца область с высокими значениями ОСО распространилась практически на всю полярную зону Северного полушария, а затем продолжила расширение вплоть до 50 градуса северной широты. Это во многом и спровоцировало аномально высокие значения озона на севере ЕТР в январе. Началось раннее образование области повышенных значений ОСО (так называемый весенний максимум). Такое расширение области с повышенными значениями ОСО аномально, что и демонстрировали устойчиво повышенные среднемесячные значения ОСО во всех регионах.

К особенностям 2019 г. следует также отнести неожиданно раннее формирование устойчивого циркумполярного вихря, с аномально низкими значениями ОСО. К концу ноября образовались два масштабных и очень устойчивых высотных барических образования (рис. 1.2.2.4), сильно различающихся по содержанию озона, со значениями ~300 - 450 е.Д. и ~200 - 300 е.Д. соответственно. Оба этих образования с незначительными вариациями по положению и значениям максимумов и минимумов ОСО сохранились до конца года. В декабре поле озона в основном определялось взаимоположением циркумполярного вихря и полярного антициклона, которые практически блокировали друг друга в первой половине декабря. Во второй половине декабря, несколько поменяв свое местоположение и размеры, они снова пришли в равновесие. Устойчивое расположение вихря над Западной Сибирью привело к возникновению аномально низких значений ОСО над этим регионом в декабре. Также пониженные значения в конце года затронули Север ЕТР.

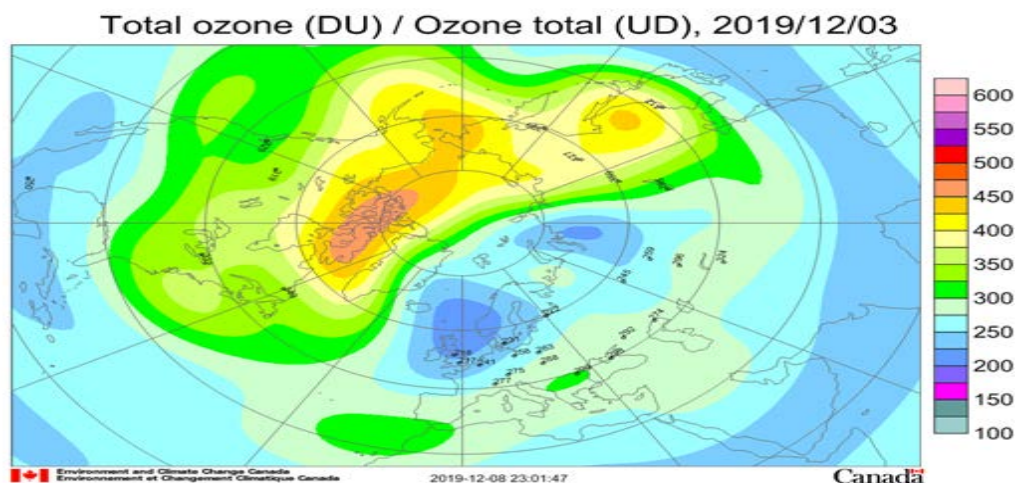


Рис. 1.2.2.4. Поле ОСО над Северным полушарием 03.12.2019 г. по данным канадского центра по окружающей среде и изменениям климата <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca>. В цветовой шкале представлены спутниковые данные. В виде цифр приведены значения, полученные наземной аппаратурой

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°). ОПА дает возможность получить косвенную оценку аэрозольного ослабления в атмосфере, поскольку, в указанном диапазоне λ вариации ОПА определяются главным образом содержанием в атмосфере аэрозоля и водяного пара. Именно поэтому в теплое время года из-за увеличения влагосодержания и турбулентного обмена в атмосфере значения ОПА выше, чем в холодный период.

В таблице 1.2.3.1 представлены районы расположения и координаты станций фонового мониторинга, на которых проводятся наблюдения за ОПА и прозрачностью атмосферы.

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

Примечания к табл. 2.6, 2.7

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

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

Средние за 2019 г. значения P_2 и ОПА для региональных станций фонового мониторинга и трех парных им городов в сравнении со значениями 2018 года приводятся в таблице 1.2.3.2.

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 фонового мониторинга в 2019 и 2018 гг.

Станция	ОПА $\pm\sigma$ 2019 г.	ОПА $\pm\sigma$ 2018 г.	$P_2\pm\sigma$ 2019 г.	$P_2\pm\sigma$ 2018 г.
Туруханск	0,219 $\pm$ 0,021	0,218 $\pm$ 0,017	0,803 $\pm$ 0,017	0,804 $\pm$ 0,014
Усть-Вымь	0,269 $\pm$ 0,029	0,284 $\pm$ 0,054	0,765 $\pm$ 0,022	0,754 $\pm$ 0,040
Сыктывкар*	0,261 $\pm$ 0,043	-	0,772 $\pm$ 0,033	-
Воейково	0,253 $\pm$ 0,039	0,266 $\pm$ 0,036	0,777 $\pm$ 0,030	0,767 $\pm$ 0,028
Памятное	0,238 $\pm$ 0,046	0,222 $\pm$ 0,043	0,789 $\pm$ 0,036	0,802 $\pm$ 0,034
Курган*	0,269 $\pm$ 0,042	0,258 $\pm$ 0,040	0,765 $\pm$ 0,032	0,774 $\pm$ 0,031
Хужир	0,231 $\pm$ 0,043	0,229 $\pm$ 0,041	0,794 $\pm$ 0,033	0,795 $\pm$ 0,032
Иркутск*	0,256 $\pm$ 0,063	0,253 $\pm$ 0,061	0,776 $\pm$ 0,048	0,779 $\pm$ 0,046
Шаджатмаз	0,184 $\pm$ 0,032	0,181 $\pm$ 0,032	0,832 $\pm$ 0,027	0,835 $\pm$ 0,027
о-в Диксон	0,275 $\pm$ 0,039	0,342 $\pm$ 0,039	0,761 $\pm$ 0,029	0,711 $\pm$ 0,028

В 2019 г. по сравнению с предыдущим годом на шести станциях из десяти оптическая плотность повысилась. Максимальное повышение ОПА было зафиксировано на станции

Памятное (7,2%). На трёх станциях ОПА понизилась: ст. Усть-Вымь на 5,3%, Воейково на 4,9%, а максимальное снижение зарегистрировано на станции о-в Диксон (-19,6%).

Сравнение осредненных за 2018 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 г. 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.

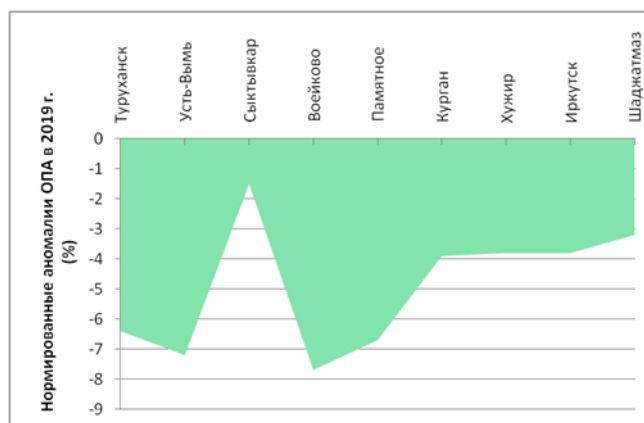


Рис. 1.2.3.1 Нормированные аномалии ОПА (%) в 2019 г. относительно многолетней нормы

Как видно из рис. 1.2.3.1 в 2019 г. на всех станциях наблюдались пониженные значения ОПА по сравнению с 30-летней нормой. Наиболее существенно это проявилось на станциях Воейково (-7,7%), Усть-Вымь (-7,2%), Памятное (-6,7%) и Туруханск (-6,4%). На станциях Курган, Хужир, Иркутск и Шаджатмаз уменьшение ОПА по отношению к норме не превышало 4%. И только на станции Сыктывкар ОПА была снижена незначительно (-1,5%).

На рис. 1.2.3.2 показаны внутригодовые изменения среднемесячных значений ОПА в 2019 г. на станциях фонового мониторинга.

Максимально высокое замутнение атмосферы и, соответственно, наименьшая прозрачность наблюдается в летние месяцы, что обусловлено усилением турбулентного перемешивания и открытой подстилающей поверхностью. Как правило, на городских станциях степень замутнения выше, чем на парных им фоновых региональных станциях. Среди непарных станций фонового мониторинга (рис. 1.2.3.2. а) самой прозрачной остается атмосфера на горной станции Шаджатмаз (2070 м над уровнем моря), где среднемесячные значения ОПА варьировали от 0,147 в январе до 0,244 в июле. Уровни оптического загрязнения на пригородной станции Воейково, расположенной в 12 км к востоку от г. Санкт-Петербурга, и на арктической станции о-в Диксон сопоставимы между собой. На наиболее чистой западносибирской станции Туруханск интервал изменений ОПА составил от 0,195 (март) до 0,256 (июль).

На городской станции Сыктывкар, парной фоновой станции Усть-Вымь, загрязнение с февраля по май было ниже, чем на региональной станции (рис. 1.2.3.2. б). С августа по ноябрь

на станции Усть-Вымь степень замутнения была меньше, чем в городе. Эти особенности обусловлены условиями расположения станций относительно окружающих локальных источников загрязнения и, главное, направлением господствующих ветров.

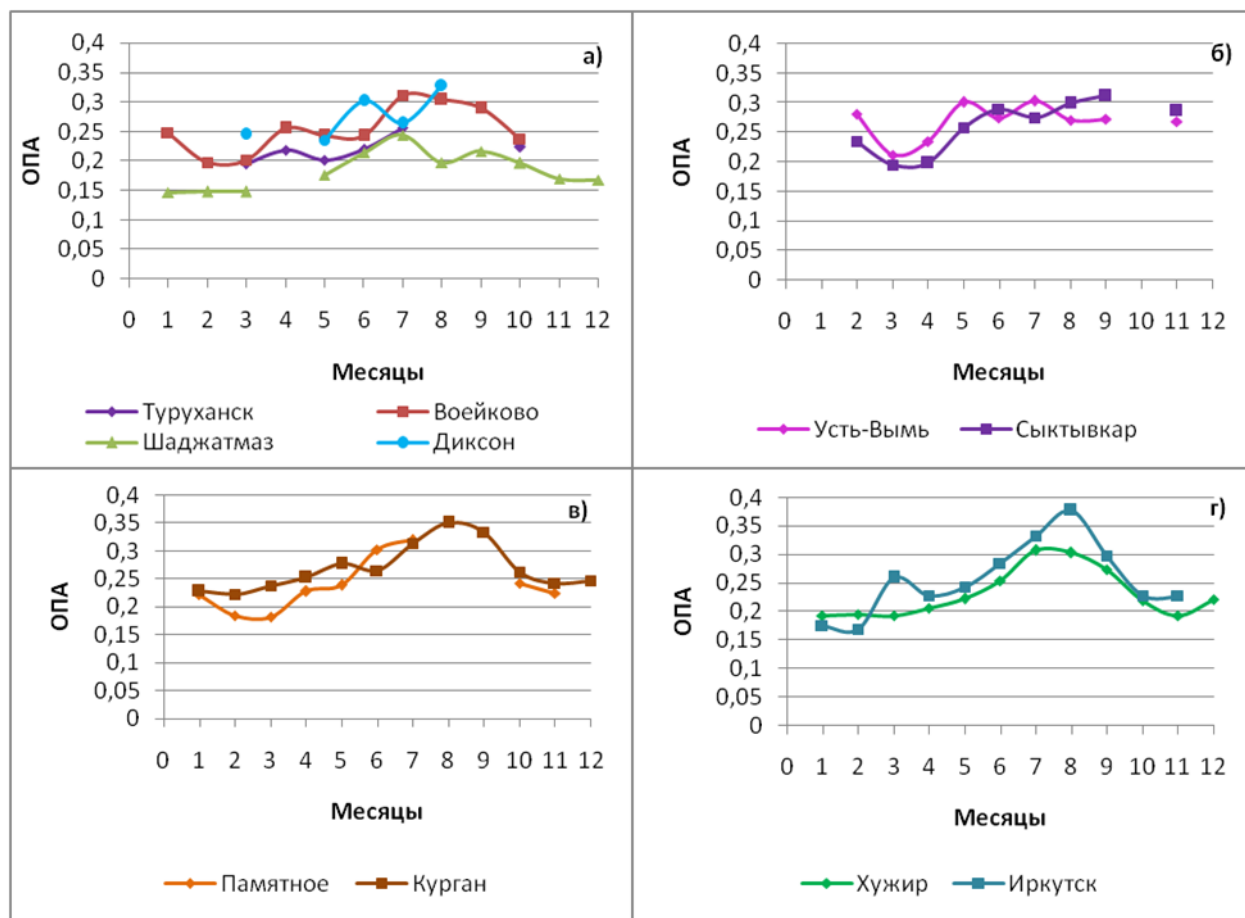


Рис. 1.2.3.2. Годовой ход ОПА на станциях фоновочного мониторинга атмосферы в 2019 г.

На западосибирских парных станциях Памятное и Курган (рис. 1.2.3.2. в) городское оптическое загрязнение атмосферы превосходило фоновое в течение всего года, за исключением июня. Сказывалось влияние сильно загрязненных воздушных масс, поступающих из районов сибирских лесных пожаров.

На паре восточносибирских станций Хужир и Иркутск (рис. 1.2.3.2. г) с марта и до конца года среднемесячные значения ОПА в городе превышали таковые на фоновой станции Хужир. Наибольший разрыв в значениях ОПА наблюдался в марте и августе. Вообще следует отметить, что летом 2019 г., особенно в августе и в сентябре, наблюдения за прозрачностью и оптической плотностью атмосферы на станциях, расположенных в разных районах Сибири, были затруднены из-за высокого замутнения атмосферы, связанного с лесными пожарами, охватившими значительные территории.

Наиболее продолжительный период с положительными нормативными аномалиями ОПА был связан с крупными вулканическими извержениями Фуэго (1974), Эль-Чичон (1982) и Пинатубо и Хадсон (1991). Самым сильным был отклик атмосферы на извержения вулканов Пинатубо и Хадсон, произошедших в июне и августе 1991 г. После этих извержений значения положительных нормированных аномалий ОПА достигали 40–50%.

В середине 1990 гг. в результате самоочищения атмосферы начался рост прозрачности, падение ОПА и постепенный переход нормированных аномалий ОПА в область отрицательных значений, чему способствовало и сокращение промышленной активности в постперестроечные годы.

Представление о характере межгодовой изменчивости ОПА за последние 20 лет, относительно 30-летней нормы дает рис. 1.2.3.3.

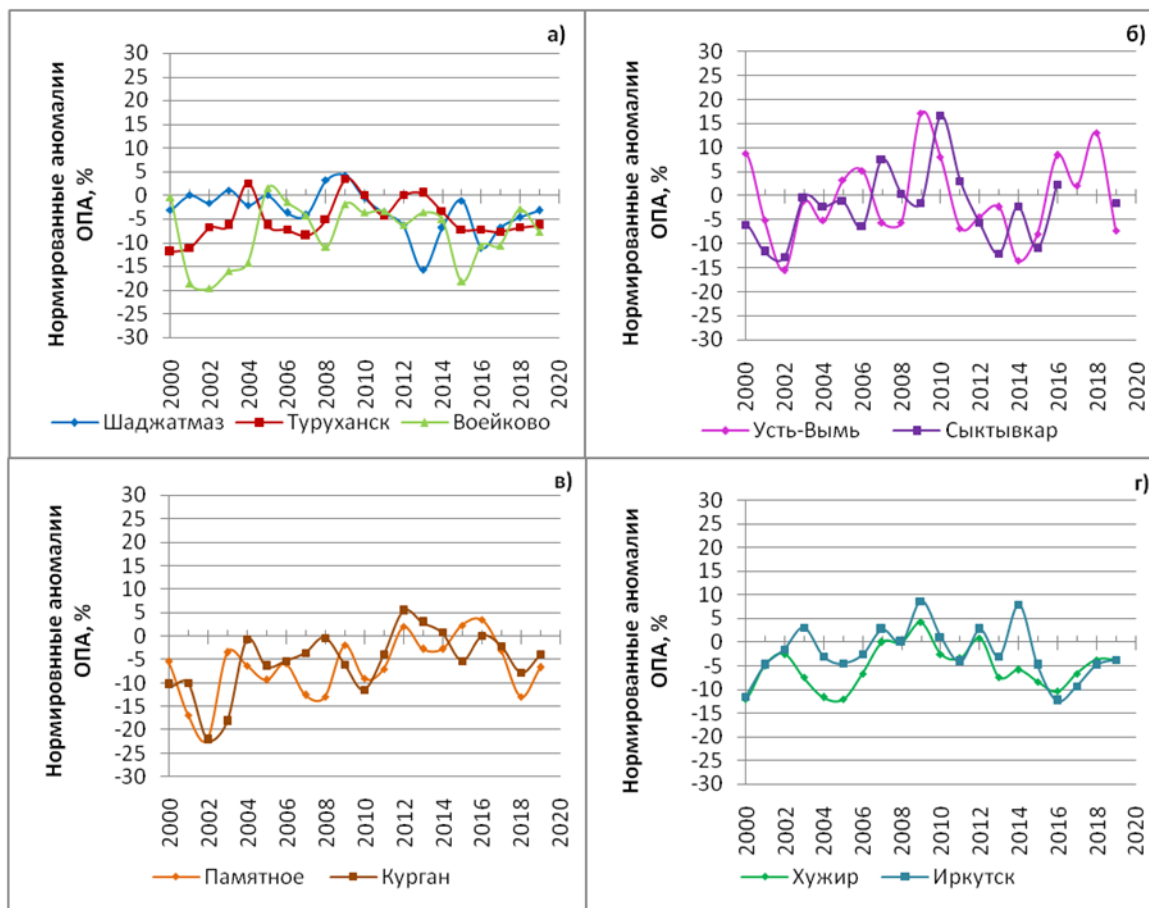


Рис. 1.2.3.3. Межгодовая изменчивость нормированных аномалий ОПА (%) на станциях фонового мониторинга атмосферы

С 2000-ого года характер колебаний нормированных аномалий неодинаков. На непарных станциях они находятся в основном ниже нормы. Особенно заметно снижение ОПА проявилось в 2001-2004 гг. и в 2015 г. на станции Воейково.

На парных станциях Усть-Вымь и Сыктывкар (рис. 1.2.3.3 б) наблюдается увеличение оптического загрязнения (более 10% по сравнению с нормой) в 2009-2010 гг., а также в 2018 г. на станции Усть-Вымь.

На станциях Памятное и Курган (рис. 1.2.3.3 в) в начале 2000-х годов ОПА была существенно ниже нормы, затем наблюдался постепенный рост, который к началу второго десятилетия достиг нормы и далее варьировал, не превышая $\pm 5\%$.

На станциях Хужир и Иркутск нормированные аномалии ОПА сдвинуты в сторону их отрицательных значений (рис. 1.2.3.3 г), особенно на фоновой станции Хужир в 2004 и 2005 гг. и в 2016 г. на обеих станциях.

Однако характер изменений реального уровня оптического загрязнения атмосферы на

станциях фонового мониторинга за 20-летний период более четко проявляется по данным абсолютных среднегодовых значений ОПА, приведенных на рис. 1.2.3.4.

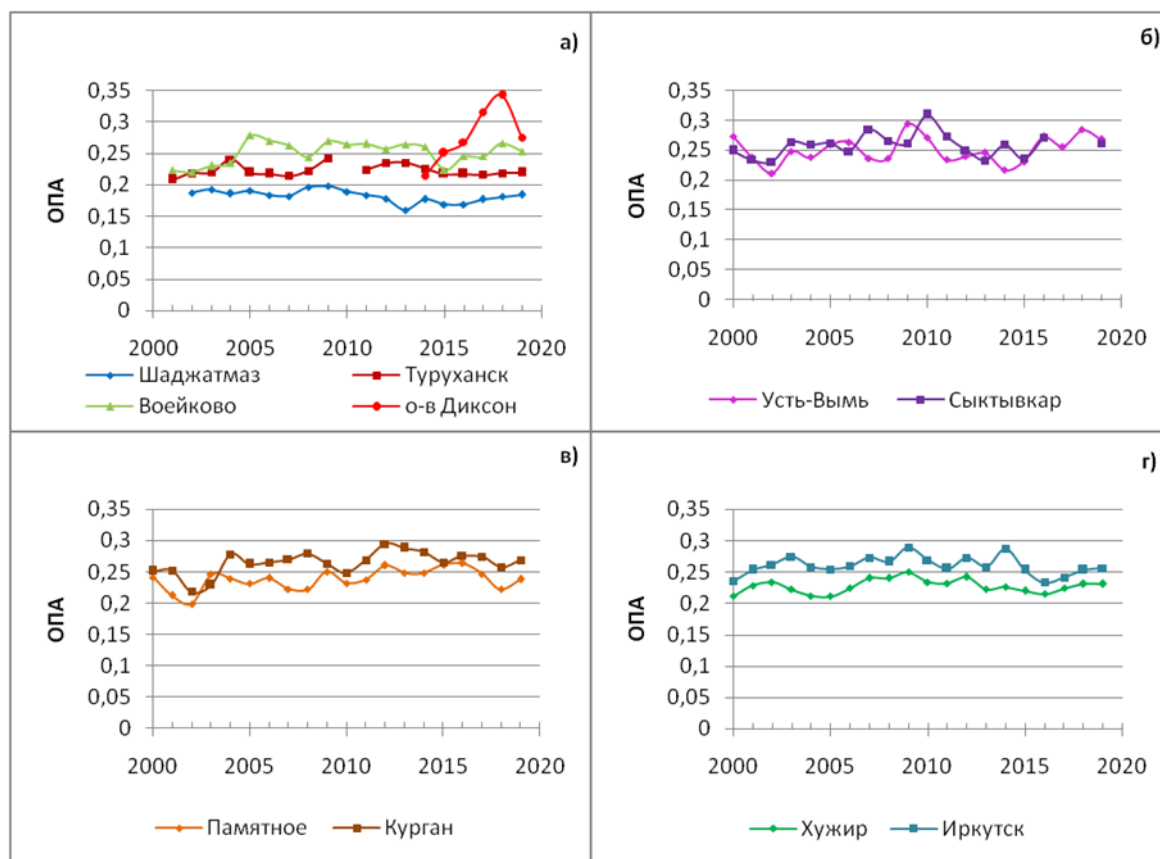


Рис. 1.2.3.4. Изменчивость среднегодовых значений ОПА в 2000-2019 гг.

Из рис. 1.2.3.4 следует, что на всех рассматриваемых станциях, за исключением арктической станции о-в Диксон, среднегодовые значения оптической плотности атмосферы варьируют в интервале от 0,2 до 0,3 (единственный раз верхняя граница была превышена в 2010 г. на городской станции Сыктывкар (0,309). На наиболее чистой высокогорной станции Шаджатмаз среднегодовые значения ОПА изменялись в интервале от 0,150 до 0,200. На двух сибирских фоновых станциях (Туруханск и Хужир) в интервале от 0,200 до 0,250; на степной станции Памятное оптическое загрязнение уже выше и максимальное за 20 лет среднегодовое значение ОПА достигало 0,264, а на пригородной станции Воейково 0,278.

На станциях, работающих по программе фонового мониторинга, за последние 20 лет не было зафиксировано значимых трендов среднегодовых значений оптической плотности атмосферы.

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, на аэрологической станции в Южно-Сахалинске (ЮС). Общая продолжительность измерений в Воейково составила 70 лет, в Иркутске 60 лет, в Верхнем

Дуброво 62 года, в Южно-Сахалинске 51 год. Датчики измерителей V', L+ и L- установлены в пределах одного–трех метров от земли. На станциях Верхнее Дуброво и Южно-Сахалинск измерения L+ и L- были восстановлены с 2015 г. после длительного перерыва.

Обобщенные по сезонам результаты измерений V'с за 2009–2019 гг. приведены в таблице 1.2.4.1. В таблице 1.2.4.2 приведены обобщенные по сезонам результаты измерений удельной суммарной электрической проводимости воздуха LS на станциях Воейково и Иркутск за 2009–2019 гг., на станциях Верхнее Дуброво и Южно-Сахалинск за 2015–2019 гг. Также в таблицах представлены данные V'с и LS, осредненные по пятилетним периодам 2009–2013 и 2014–2018 гг.

В скобках указаны минимальные и максимальные среднемесячные значения измеряемых величин за сезон и год.

Таблица 1.2.4.1. . Сезонные (V'с), среднегодовые (V'г) и среднемесячные минимальные и максимальные (в скобках) значения V' (даВ/м) за 2009–2019 гг. на станциях Верхнее Дуброво (ВД), Воейково (В), Иркутск (И), Южно-Сахалинск (ЮС), включая средние значения по пяти годам

Станция	Год	V'с, (V')				V'г, (V')
		Зима	Весна	Лето	Осень	
ВД	2019	-	15 (14-18)	-	-	-
	2014-2018	16 (12, 19)	14 (9, 22)	10 (7, 13)	12 (5, 17)	13 (5, 22)
	2018	18 (16, 19)	15 (11, 20)	9 (9, 9) Н	-	14 (9, 20) С
	2017	16 (14, 17)	13 (9, 18)	11 (10, 12)	12 (11, 13)	13 (9, 18)
	2016	16 (14, 19)	12 (9, 18)	9 (7, 10)	11 (10, 12)	12 (7, 19)
	2015	17 (16, 17)	15 (13, 18)	9 (9, 10)	11 (5, 17)	13 (5, 18)
	2014	14 (12, 16)	15 (10, 22)	10 (7, 13)	13 (12, 14)	13 (7, 22)
В	2009-2013	19 (13, 26)	13 (8, 20)	11 (9, 15)	14 (8, 19)	14 (8, 26)
	2019	10 (9, 12)	12 (11, 13)	11 (10, 12)	12 (12, 13)	11 (9, 13)
	2014-2018	12 (7, 17)	11 (8, 15)	9 (7, 12)	8 (7, 15)	10 (7, 17)
	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	2014	10 (7, 13)	10 (6, 14)	11 (9, 12)	14 (13, 15)	11 (6, 15)
	2009-2013	11 (6, 17)	11 (6, 16)	8 (4, 12)	9 (6, 15)	10 (4, 17)
	2019	8 Н	8 Н	6 (5, 6)	9 (6, 13)	8 (5, 13)
	2014-2018	10 (8, 12)	9 (6, 12)	7 (5, 11)	8 (7, 10)	9 (5, 12)
	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)
ЮС	2015	10 (9, 11)	8 (6, 10)	6 (6, 6)	8 (5, 10)	8 (5, 11)
	2014	11 (10, 12)	9 (8, 11)	7 (6, 8)	9 (7, 10)	9 (6, 12)
	2009-2013	13 (7, 17)	10 (6, 15)	6 (5, 7)	9 (6, 12)	10 (5, 17)
	2019	-	15 Н	-	17 (12, 20)	-
	2014-2018	34 (27, 42)	17 (6, 29)	8 (5, 12)	16 (9, 22)	19 (5, 42)
	2018	34 (29, 38)	13 (6, 25)	6 (5, 7)	-	18 (5, 38) С
	2017	30 (27, 34)	14 (7, 21)	7 (5, 10)	19 (14, 22)	18 (5, 34)
ЮС	2016	31 (27, 33)	20 (11, 29)	11 (9, 12)	17 (14, 21)	21 (9, 33)
	2015	38 (34, 42)	17 (9, 24)	9 (7, 10)	12 (9, 15)	19 (7, 42)
	2014	36 (33, 38)	20 (11, 28)	9 (8, 11)	17 (15, 20)	21 (8, 38)
	2009-2013	31 (21, 41)	20 (10, 30)	11 (7, 14)	17 (12, 25)	20 (7, 41)

Из представленных в таблице 1.2.4.1 данных наблюдений следует, что значительных изменений V' в 2019 г. по сравнению с периодом 2009–2018 гг. не произошло, хотя на станции Воейково отмечается небольшое увеличение сезонных (лето и осень) и годовых значений V' в 2019 г. Некоторое снижение V' в Иркутске зимой и весной возможно связано с неполным рядом данных в эти периоды.

Как видно из таблицы 1.2.4.2, в 2019 г. по сравнению с периодом 2009–2018 гг. существенных изменений LS не произошло за исключением станции Иркутск, где наблюдается увеличение среднегодового значения в основном за счет осенних данных.

Таблица 1.2.4.2. Сезонные (LC) и среднегодовые (LG) значения удельной суммарной электрической проводимости воздуха (фСм/м), минимальные и максимальные среднемесячные значения суммарной электрической проводимости LS (в скобках) на станциях Воейково (В), Иркутск (И) (2009–2019 гг.), Верхнее Дуброво (ВД) и Южно-Сахалинск (ЮС) (2015–2019гг.)

Станция	Год	L _c , (L _s)				L _г , (L _с)
		Зима	Весна	Лето	Осень	
В	2019	15 (11, 16)	18 (15, 21)	19 (18, 20)	18 (17, 20)	18 (11, 21)
	2014-2018	16 (11, 21)	18 (14, 23)	19 (14, 26)	19 (16, 22)	18 (11, 26)
	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)
	2014	20 (19, 21)	22 (22, 23)	24 (22, 26)	19 (16, 22)	21 (16, 26)
	2009-2013	19 (14, 23)	20 (15, 24)	23 (19, 28)	22 (18, 25)	21 (14, 28)
И	2019	21 (18, 24)	23 (22, 25)	22 (20, 23)	28 (26, 33)	24 (18, 33)
	2014-2018	19 (13, 27)	22 (18, 27)	21 (14, 27)	23 (18, 27)	21 (13, 27)
	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)
	2014	17 (15, 20)	18 (18, 19)	26 (26, 27)	23 (21, 26)	21 (15, 27)
	2009-2013	16 (14, 23)	18 (14, 22)	20 (13, 24)	22 (16, 34)	19 (13, 34)
ВД	2019	12 (11, 13)	15 (13, 17)	16 (13, 19)	17 (16, 20)	15 (11, 20)
	2015-2018	16 (12, 17)	15 (12, 17)	16 (14, 18)	16 (10, 19)	16 (10, 19)
	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 (H)	17 (H)	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)
	2014	17 (17, 17)	16 (15, 17)	17 (16, 18)	17 (14, 19)	17 (14, 19)
ЮС	2019	6 (5, 6)	7 (6, 8)	8 (7, 10)	9 (8, 10)	8 (5, 10)
	2015-2018	8 (5, 8)	8 (6, 12)	11 (8, 16)	11 (7, 17)	9 (5, 17)
	2018	6 (5, 7)	7 (6, 9)	11 (8, 12)	9 (7, 11)	8 (5, 12)
	2017	7 (6, 9)	8 (6, 10) H	8 (8, 9)	8 (7, 9)	8 (6, 10)
	2016	11 (H)	9 (9, 10)	10 (9, 12)	-	10 (9, 12) C
	2015	7 (7, 8)	9 (7, 12)	14 (12, 16)	15 (12, 17)	11 (7, 17)

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

На рис. 1.2.4.1 представлен годовой ход V' за 2019 г. на фоне осредненного годового хода V' за предшествующий период 2014-2018 гг. На рис. 1.2.4.2 в такой же форме показан годовой ход LS по всем станциям.

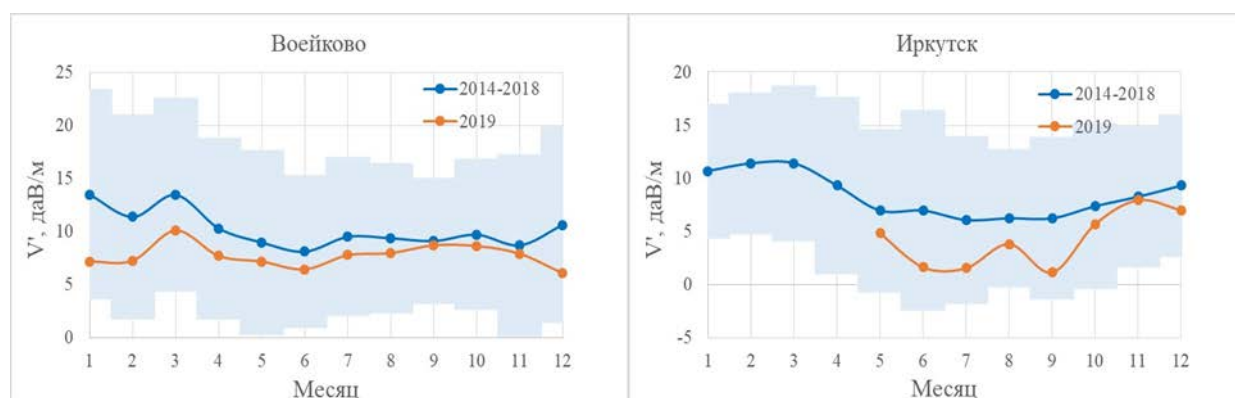


Рис. 1.2.4.1. Годовой ход V' по станциям атмосферно-электрической сети Воейково и Иркутск в 2019 г. на фоне осредненного годового хода V' за период 2014–2018 гг.

Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2014–2018 гг.

Из рис. 1.2.4.1 следует, что на станции Воейково в 2019 г. значения V' несколько ниже, хотя конфигурация годового хода V' та же, что и в 2014–2018 гг. На станции Иркутск наблюдается существенное уменьшение V' в 2019 г. с июня по сентябрь относительно средних значений за 2014–2018 гг.

На рис. 1.2.4.2 заметны небольшие различия годового хода LS в 2019 г. по сравнению с предыдущим периодом. На станции Воейково годовой ход в 2019 г. практически не отличается от соответствующих значений осредненного годового хода LS за предшествующий период. В Южно-Сахалинске годовой ход LS в 2019 г. подобен предшествующему, однако, с февраля по август значения в 2019 г. несколько снижены. В Верхнем Дуброво значения LS в январе, феврале и июне заметно ниже, а в марте и августе выше соответствующих значений предшествующего периода. В Иркутске наиболее заметно повышение LS в осенний период, особенно в октябре.

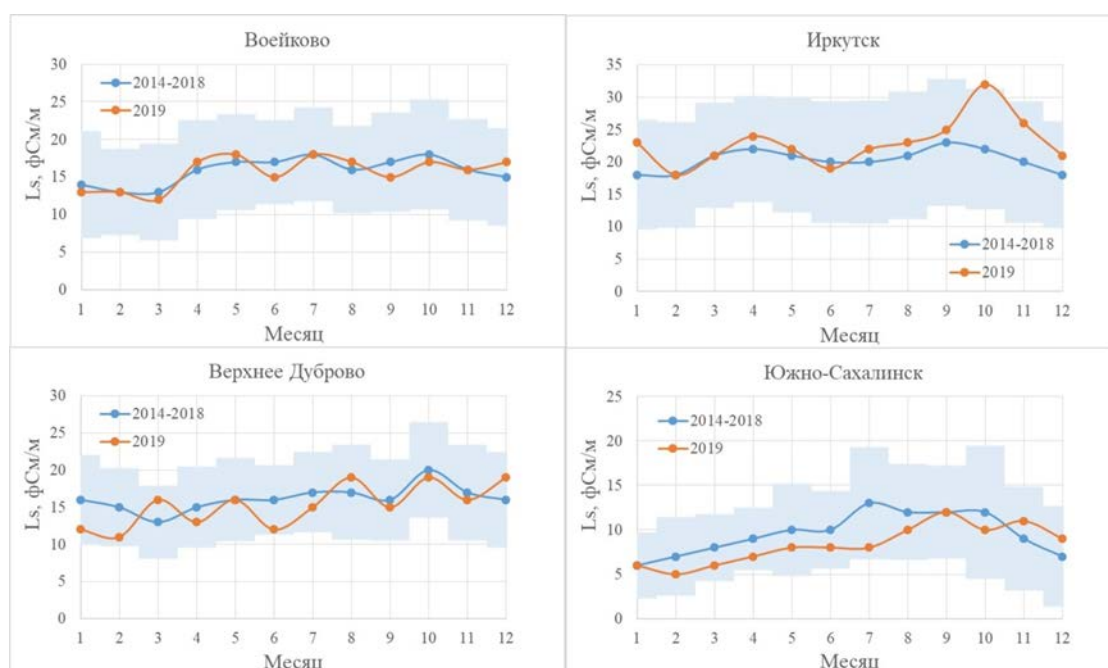


Рис. 1.2.4.2. Годовой ход L_s на станциях Воейково, Иркутск, Верхнее Дуброво и Южно-Сахалинск в 2019 г. на фоне осредненного годового хода L_s за период 2014–2018 гг.

Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2014–2018 гг.

1.3. Химический состав атмосферных осадков

1.3.1. Загрязняющие вещества в атмосферных осадках

Для оценки характеристик загрязнения осадков были использованы ряды наблюдений с октября 2018 г. по сентябрь 2019 г. (геофизический год).

Тяжелые металлы

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации свинца в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 4,0 мкг/л, Приокско-Террасного БЗ около 3,4 мкг/л, Астраханского БЗ около 2,1 мкг/л, Воронежского БЗ около 1,6 мкг/л, Алтайского БЗ (Яйлю) 1,3 мкг/л. Средневзвешенная годовая фоновая концентрация свинца в атмосферных осадках на территории всех заповедников в рассматриваемый период была на уровне значений предыдущих лет, либо несколько выше (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

Максимальная среднемесячная концентрация свинца в осадках за текущий геофизический год на территории Кавказского БЗ (37 мг/л) отмечалась в марте и была значительно выше средних за период значений (менее 2,2 мг/л). Концентрации ≤ 1 мкг/л наблюдались в большинстве случаев (9 месяцев).

В Приокско-Террасном БЗ содержание свинца в атмосферных осадках находилось в диапазоне от 1,3 мкг/л (сентябрь) до 7,4 мкг/л (май). Максимальное содержание свинца было зафиксировано в мае и июне: 7,4 и 6,9 мкг/л соответственно.

Среднемесячные концентрации свинца на территории Астраханского БЗ варьировали в диапазоне от значений ниже предела обнаружения (август) до 4 мкг/л (апрель). Содержание свинца в атмосферных осадках на территории Астраханского заповедника в рассматриваемый период в основном находилось в диапазоне от 2 до 3 мкг/л.

В Воронежском БЗ максимальные концентрации были зафиксированы в декабре 2018 г. (около 3,4 мкг/л) и в марте 2019 г. (3,3 мкг/л). Минимальные концентрации свинца в атмосферных осадках фиксировались в период с июля по сентябрь. В основном, в рассматриваемый период, концентрации свинца не превышали 3,5 мкг/л.

Максимальное содержание свинца в осадках на территории Алтайского БЗ отмечалось в марте и сентябре (4,1 и 3,0 мкг/л соответственно). Содержание свинца в атмосферных осадках на территории Алтайского заповедника в рассматриваемый период в основном находилось в диапазоне от концентраций близких к пределу обнаружения до концентрации около 1,5 мкг/л.

Таблица 1.3.1.1 Уровни содержания загрязняющих веществ в атмосферных осадках фоновых районов по результатам наблюдений СКФМ и среднегодовые концентрации за 2018-2019 гг.

Заповедник	Период наблюдений	Свинец, мкг/л		Кадмий, мкг/л		Ртуть, мкг/л	
		Диапазон	2019 г.	Диапазон	2019 г.	Диапазон	2019 г.
Кавказский БЗ	1982-2019	0,19 - 69,0	4,0	0,010-49,0	0,04	0,001-22,4	1,7
Приокско-Террасный БЗ	1983-2019	0,2 - 696,0	3,4	0,009-20,0	0,08	0,01-80,0	0,94
Астраханский БЗ	1987-2019	0,05 - 91,0	2,1			0,02-376,0	1,5
Воронежский БЗ	1989-2019	0,18 - 44,2	1,6	0,025-19,0	0,075	0,001-311,0	0,8
Яйлю	1998-2019	0,25 - 48,0	1,3	0,011-12,5	0,11	0,001-0,97	0,4

Заповедник	Период наблюдений	Бенз(а)пирен, нг/л		сумма-ДДТ, нг/л		γ-ГХГЦ, нг/л	
		Диапазон	2019 г.	Диапазон	2019 г.	Диапазон	2019 г.
Кавказский БЗ	1982-2018	0,05-61,0	1,12*	1,01 - 1811	135*	0,25 - 240	52,5*
Приокско-Террасный БЗ	1983-2019	0,05-28,0	1,47*	1,5 - 1729	75,0	0,25 - 12960	4,9
Астраханский БЗ	1987-2019	0,05-22,72	1,08*	1,5 - 994	99,0	0,3 - 1397	54,4
Воронежский БЗ	1989-2019	0,05-10,4	1,28*	1,0 - 71748	45,1	0,23 - 48,9	8,0
Яйлю	1998-2018	0,1-14,0	1,05*	0,4-350	158*	0,1 - 398	29,1*

нпо - значение ниже предела обнаружения. * - данные последнего года наблюдений.

Годовые средневзвешенные фоновые концентрации кадмия в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ 0,04 мкг/л (без учета экстремально высокого значения, отмеченного в марте), Приокско-Террасного БЗ около 0,08 мкг/л, Воронежского БЗ – 0,075 мкг/л, Алтайского БЗ 0,11 мкг/л. Средневзвешенные годовые фоновые концентрации кадмия в атмосферных осадках на территории заповедников в рассматриваемый период сохранились на уровне предыдущего года, за исключением Приокско-Террасного БЗ, где отмечено снижение (2018 г. – 0,2 мкг/л) (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

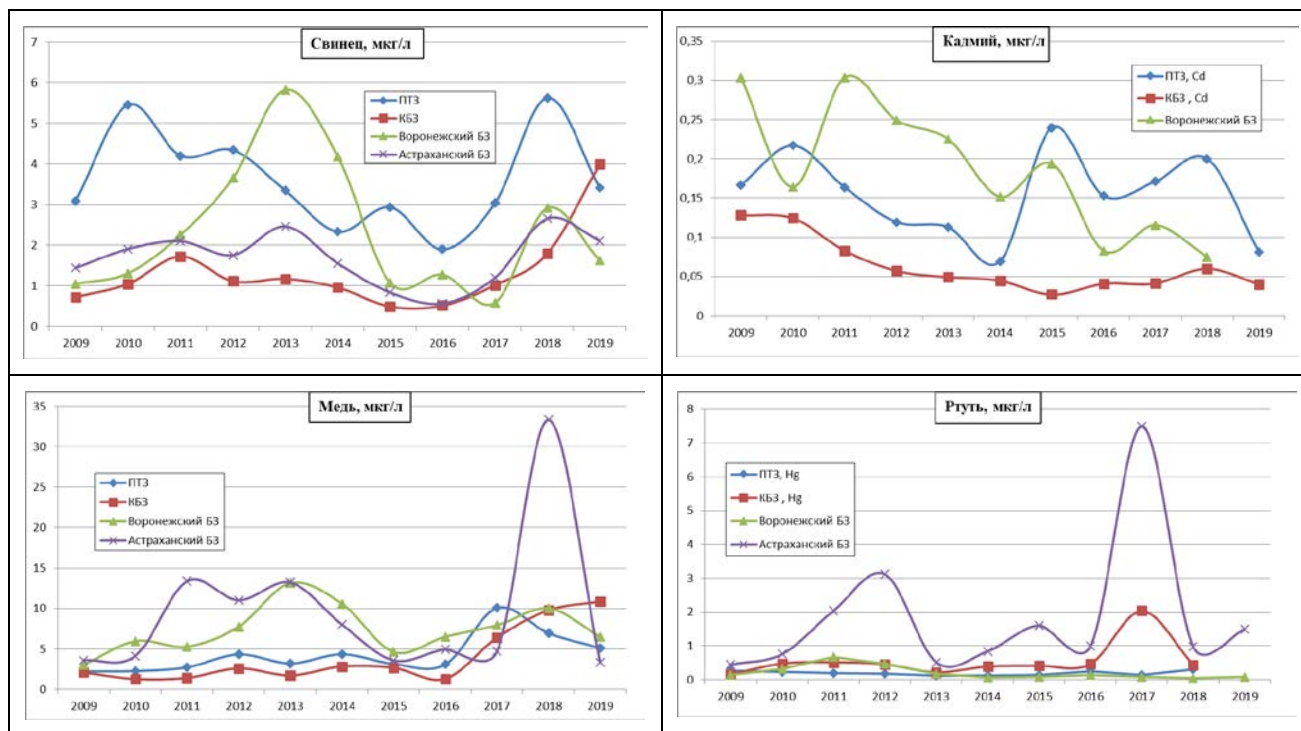


Рис. 1.3.1.1. Изменение среднегодового содержания тяжелых металлов в атмосферных осадках фоновых районов в 2009-2019 гг. (геофизические гг.)

На территории Кавказского БЗ экстремально высокая концентрация кадмия за рассматриваемый геофизический год была зафиксирована в марте (3,2 мкг/л), также повышенным было содержания кадмия в августе 0,11 мкг/л. В остальные месяцы концентрации варьировали в диапазоне от 0,01 (в январе) до 0,05 мкг/л.

В Приокско-Террасном БЗ содержание кадмия в атмосферных осадках варьировало в диапазоне – от менее 0,04 мкг/л до 0,12 мкг/л, за исключением значения, зафиксированного в декабре 2018 г. (0,030 мкг/л). Также, относительно высоким было содержания кадмия в июле 0,12 мкг/л. Минимальные значения фиксировались в январе, феврале и в августе менее 0,04 мкг/л.

На территории Воронежского заповедника максимальные концентрации кадмия были зафиксированы в ноябре и декабре 2018 г. (0,17 и 0,18 мкг/л соответственно). В остальные месяцы концентрация кадмия была ниже 0,1 мкг/л, с минимумом в августе и сентябре.

На территории Алтайского заповедника содержание кадмия в основном варьировало в диапазоне значений от 0,04 мкг/л до 0,12 мкг/л, за исключением повышенного содержания в марте и сентябре (0,24 и 0,28 мкг/л соответственно). Минимальные значения содержания кадмия в атмосферных осадках отмечались в октябре 2018 г. и апреле 2019 г.

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации ртути в атмосферных осадках составили: на территории Воронежского БЗ 0,8 мкг/л, Алтайского БЗ около 0,4 мкг/л, Астраханского БЗ 1,5 мкг/л, Приокско-Террасного БЗ 0,94 мкг/л, Кавказского БЗ 1,7 мкг/л.

На территории Кавказского БЗ экстремально высокая концентрация ртути была зафиксирована в январе, концентрации, превышающие 1 мкг/л, фиксировались в марте и августе. Минимальное содержание ртути в атмосферных осадках было отмечено в апреле (0,1 мкг/л), хотя в большинстве случаев концентрация ртути не превышала 0,5 мкг/л.

На территории Приокско-Террасного БЗ повышенное содержание ртути в атмосферных осадках фиксировалось в феврале, марте и в апреле. В остальные месяцы содержание ртути не превышало 0,5 мкг/л, а минимальное значение зафиксировано в декабре 2018 г. менее 0,06 мкг/л.

В 2018-2019 гг. на территории Астраханского БЗ высокие концентрации ртути в атмосферных осадках отмечались в апреле и августе, а в феврале, марте и сентябре - превышали уровни, характерные для фоновых районов. Минимальное значение было зафиксировано в июне.

В Воронежском БЗ содержание ртути в атмосферных осадках находилось ниже 0,15 мкг/л, а в большинстве случаев ниже 0,1 мкг/л, за исключением концентраций, отмеченных в марте (0,16 мкг/л). Минимальная концентрация ртути на уровне предела обнаружения была зафиксирована в июле.

На территории Алтайского заповедника содержание ртути не превышало 0,05 мкг/л, за исключением июня (0,11 мкг/л). Минимальные значения содержания ртути в осадках отмечались в феврале и мае.

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации меди в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ 10,9 мкг/л, Приокско-Террасного БЗ 5,1 мкг/л, Воронежского БЗ 6,5 мкг/л, Алтайского БЗ 3,9 мкг/л, Астраханского БЗ 3,1 мкг/л. Содержание меди на территории Кавказского БЗ за рассматриваемый период превышало значения предыдущих лет (рис. 1.3.1.1).

На территории Кавказского БЗ содержание меди в атмосферных осадках изменялось в широком диапазоне: с минимальными значениями, на уровне предела обнаружения, в ноябре 2018 г., а также в июле и сентябре 2019 г. до максимальных (92 мкг/л) в декабре 2019 г.

На территории Приокско-Террасного БЗ в большинстве случаев содержание меди в атмосферных осадках находилось в диапазоне от 1,1 до 2,9 мкг/л. Повышенные для данного периода уровни были отмечены в декабре 2018 г., марте и апреле 2019 г. и составили 28,0, 6,1 и 11 мкг/л соответственно.

На территории Астраханского БЗ содержание меди варьировало от уровня предела обнаружения до 13 мкг/л. Максимальная концентрация (13 мкг/л) была отмечена в июне, а минимальные значения (менее 1 мкг/л) регистрировались в январе и сентябре.

В Воронежском БЗ наибольшее содержание меди в атмосферных осадках было отмечено в апреле, в остальные месяцы не превышало 10 мкг/л., а в теплый период (с мая по сентябрь) 3,5 мкг/л. Минимальное содержание меди отмечалось в июле.

На территории Алтайского заповедника содержание меди варьировало от 0,8 мкг/л до 15,7 мкг/л. Минимальное значение было зафиксировано в апреле, а максимальное - в ноябре 2018 г. В остальные месяцы содержание меди не превышало 8 мкг/л.

Хлорорганические пестициды

На территории Приокско-Террасного БЗ в исследуемый период (2018-2019 гг.) концентрации альфа-ГХЦГ в осадках составили 12,8 нг/л. Концентрации гамма-ГХЦГ были на уровне предела обнаружения 4,9 нг/л (табл. 1.3.1.1).

Среднемесячная концентрация суммы изомеров ГХЦГ в осадках на территории Астраханского БЗ в исследуемый период варьировала в диапазоне от предела обнаружения до 286,6 нг/л (февраль). Максимальное содержание альфа-изомера было зафиксировано в мае и превысило концентрацию 221 нг/л. Максимальное содержание гамма-изомера было зафиксировано в феврале и превысило концентрацию 223 нг/л.

Среднемесячная концентрация альфа-изомера ГХЦГ в осадках на территории Воронежского БЗ в исследуемый период была ниже предела обнаружения. Среднемесячные концентрации гамма-изомера ГХЦГ, превышающие предел обнаружения, находились в диапазоне 3,6-26 нг/л. Концентрация гамма-изомера ГХЦГ в январе и феврале была ниже предела обнаружения.

Среднемесячная концентрация ДДТ и его метаболитов в осадках на территории Приокско-Террасного БЗ в исследуемый период была близка к пределу обнаружения. Метаболиты ДДЕ были чуть выше предела обнаружения. ДДД не был зарегистрирован в концентрациях выше предела обнаружения. Среднегодовая сумма ДДТ составила 92,7 нг/л.

В осадках на территории Астраханского БЗ в исследуемый период содержание ДДТ и его метаболитов выше предела обнаружения было зарегистрировано в нескольких пробах: концентрации ДДЕ и ДДД находились ниже предела обнаружения, а ДДТ был выявлен в трех образцах. В остальных образцах среднемесячные концентрации исследуемых поллютантов были ниже предела обнаружения. Среднегодовая сумма ДДТ составила 99 нг/л.

В осадках на территории Воронежского БЗ в исследуемый период среднемесячная концентрация ДДТ и его метаболитов во всех образцах была ниже предела обнаружения.

1.3.2. Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков

В систему Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО входят 10 станций, распределенных по трем зонам: Европейская территория России (ЕТР) — Усть-Вымь, Воронежский БЗ и Приокско-Террасный БЗ; Азиатская территория России (АТР) – Туруханск, Хужир, Памятная, Тикси и Терней (Сихотэ-Алинский БЗ); горные станции – Кавказский БЗ и Шаджатмаз. К группе горных добавлена метеостанция Приморская. В соответствии с рекомендацией ВМО на большинстве станций отбирались недельные пробы осадков, на станциях Хужир и Тикси месячные пробы.

Основные характеристики химического состава осадков (ХСО) фоновых станций в 2019 г., а также за период 2015-2019 гг. представлены в таблицах 1.3.2.1 и 1.3.2.2.

В 2019 г. средневзвешенные значения минерализации осадков фоновых станций в основном были ниже величины регионального фона (15 мг/л). Превышение регионального фона чаще характерны для осадков АТР. В 2019 г. средневзвешенная сумма ионов в осадках большинства станций ЕТР уменьшилась в среднем на 10%, а в осадках АТР увеличилась в среднем на 17% по сравнению с периодом 2015-2019 гг.

В 2019 г. наиболее значимые изменения количественного химического состава по сравнению со средним значением 2015-2019 гг. произошли в осадках Воронежского БЗ и Тикси из-за увеличения концентраций хлоридов и натрия, Усть-Выми - их уменьшения, а в Хужире - увеличения содержания в осадках гидрокарбонатов и магния.

Таблица 1.3.2.1. Средневзвешенные концентрации ионов и величины pH и удельной электропроводности (k) в осадках на станциях фонового мониторинга, 2019 г.

Станция	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	M	pH.	k, мкСм/см
	мг/л											
ЕТР												
Усть-Вымь	1,06	0,34	1,12	1,67	0,43	0,27	0,18	0,56	0,04	5,68	5,7	11,5
Приокско-Террасный БЗ	0,98	0,51	1,19	0,29	0,29	0,20	0,18	0,36	0,06	4,05	5,3	12,7
Воронежский БЗ	2,12	1,41	2,09	1,15	0,43	0,94	0,71	0,78	0,12	9,75	5,4	24,7
Кавказский БЗ	1,44	0,51	0,96	0,96	0,24	0,29	0,15	0,68	0,08	5,31	5,7	15,8
Шаджатмаз	1,72	0,56	1,53	5,08	0,94	0,23	0,34	1,63	0,18	12,2	6,3	19,0
АТР												
Памятная	2,09	1,04	1,84	1,74	0,61	0,66	0,63	0,70	0,21	9,52	5,8	23,9
Туруханск	1,07	0,56	0,57	3,53	0,16	0,45	0,26	0,55	0,50	7,65	6,4	14,1
Хужир	1,09	0,40	0,41	5,45	0,22	0,15	0,15	0,51	0,97	9,35	6,6	15,5
Терней	1,69	1,13	1,60	0,51	0,25	0,57	0,17	0,72	0,23	6,88	5,9	16,0
Тикси	1,91	7,84	0,50	1,53	0,35	3,44	0,69	0,63	0,43	17,3	5,8	30,6
Приморская	1,95	1,34	1,53	0,81	0,64	0,54	0,39	0,60	0,23	8,02	6,2	21,1

Таблица 1.3.2.2. Средневзвешенные концентрации ионов и величины pH и удельной электропроводности (k) осадков станций фонового мониторинга, 2015-2019 гг.

Станция	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	M	рН.	К, мкС м/с м
	мг / л											
ЕТП												
Усть-Вымь	1,10	0,44	0,88	2,75	0,49	0,38	0,18	0,72	0,11	7,05	6,0	14,3
Приокско-Террасный БЗ	0,98	0,52	1,13	0,63	0,32	0,18	0,14	0,45	0,10	4,45	5,5	12,1
Воронежский БЗ	1,84	0,85	1,69	1,09	0,38	0,53	0,40	0,66	0,13	7,57	5,6	19,1
Кавказский БЗ	1,24	0,50	0,76	2,03	0,25	0,24	0,12	0,92	0,12	6,20	5,9	15,7
Шаджатмаз	1,57	0,58	1,77	5,23	0,77	0,36	0,28	1,52	0,27	12,3	6,3	20,1
АТР												
Памятная	2,16	1,21	1,37	1,91	0,47	0,76	0,45	0,77	0,24	9,34	5,8	22,7
Туруханск	1,52	0,69	0,56	2,09	0,18	0,50	0,29	0,52	0,33	6,68	6,0	15,4
Хужир	1,19	0,41	0,54	2,80	0,31	0,24	0,23	0,47	0,40	6,59	6,2	15,4
Терней	1,89	1,27	1,44	0,33	0,31	0,79	0,19	0,57	0,19	6,98	5,5	16,1
Тикси*	2,29	4,18	0,51	3,00	0,34	1,94	0,59	0,67	0,35	13,9	6,0	26,1
Приморская	3,15	1,30	1,84	1,09	0,81	0,76	0,53	0,81	0,26	10,54	6,0	28,5

*Примечание: данные по Тикси рассчитаны за 2016-2019 гг.

По данным наблюдений за 2019 г., как и в предыдущие годы, наиболее низкие значения концентраций кислотообразующих ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+) в осадках во внутригодовом ходе приходится на теплый период, что согласуется с максимальным количеством выпадающих осадков и минимальной минерализацией в этот период. На территории Кавказского БЗ усиление циклонической деятельности в холодное время года обуславливает зимний максимум осадков и минимальные концентрации ионов в этот период года.

Для станций фоновый мониторинг характерна определенная идентичность качественного состава ХСО. 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 нитратов в осадках. В морском климате соотношение примесей в ионном балансе осадков изменяется вследствие иногда значительного преобладания хлоридной составляющей. В целом за период 2015-2019 гг., как и в предыдущие годы, содержание основных ионов были выше в осадках АТР, чем на ЕТР.

Наибольшим временным колебаниям были подвержены гидрокарбонаты, концентрация которых снизилась в осадках всех фоновых станций ЕТР, за исключением Воронежского БЗ (рис. 1.3.2.1). Значимое уменьшение содержания гидрокарбонатов по сравнению со средним значением за 2015-2019 гг. произошло в осадках равнинных станций в Усть-Выми и Приокско-Террасном БЗ на 39% и 54% соответственно. В осадках горных станций значимое уменьшение концентрации HCO_3^- произошло только в осадках Кавказского БЗ (на 53%).

Содержание сульфатов и нитратов в осадках ЕТР увеличилось в среднем на 10%.

Наиболее существенное снижение содержания гидрокарбонатов в осадках АТР было отмечено для Тикси практически на 50% (рис. 1.3.2.2). Максимальное увеличение содержания гидрокарбонатов в 2019 г. по сравнению с предыдущим годом наблюдалось в осадках Хужира с 2,0 до 5,5 мг/л. Снижение сульфатов в осадках проявилось на всех станциях АТР в среднем на 20%. В 2019 г. по сравнению с 2017 г. наиболее существенное снижение произошло в осадках Тикси с 3,8 мг/л до 1,9 мг/л и в осадках ст. Приморская с 3,9 мг/л в 2018 г. до 2,0 мг/л в 2019 г.

Содержание хлоридов в осадках практически всех фоновых станций составило 0,3-1,5 мг/л. Максимальные концентрации хлоридов в осадках характерны для прибрежной станции Тикси, где их содержание в 2019 г. в отдельные месяцы достигало порядка 30,0 мг/л.

Из катионов в осадках ЕТР преобладали ионы кальция, концентрация которых в 2015-2019 гг. изменялась от 0,7 до 1,0 мг/л. В осадках АТР преобладали ионы натрия, среднегодовое содержание которых выше в 2 раза по сравнению с осадками ЕТР и составило 0,3-0,4 мг/л.

В 2019 г. максимальная кислотность осадков ($\text{pH}_{\text{мин}}$) на ЕТР наблюдалась в недельных пробах осадков Воронежского 4,3, и Приокско-Террасного БЗ 4,4, что обусловлено в основном локальными влияниями. Значения pH ниже 5,0 наблюдались также и в осадках других станций ЕТР, а диапазон изменения pH недельных проб составил 4,3-7,1 ед. pH .

Диапазон изменения кислотности недельных и месячных проб осадков на АТР составил 4,5-7,4 ед. pH . По результатам единичных наблюдений абсолютно минимальное значение pH осадков составило 3,5 на ст. Приморская, где на закисление атмосферных осадков, возможно, влияют как локальные источники загрязнения, так и трансграничный перенос.

Повторяемость кислых осадков ($\text{pH} < 5,0$) в 2019 г. составила около 17% на ЕТР и около 4% на АТР. Изменение кислотности атмосферных осадков за период 2015-2019 гг. находилось в

пределах 0,2-0,6 ед.рН, а общая картина распределения среднегодовых значений рН в 2015-2019 гг. представлена на рис. 1.3.2.3.

В целом, на ЕТР отмечается увеличение кислотности осадков в основном из-за снижения содержания гидрокарбонатов. Для осадков большинства станций АТР характерно увеличение среднегодовой величины рН или снижение кислотности осадков в основном вследствие снижения концентрации сульфатов.

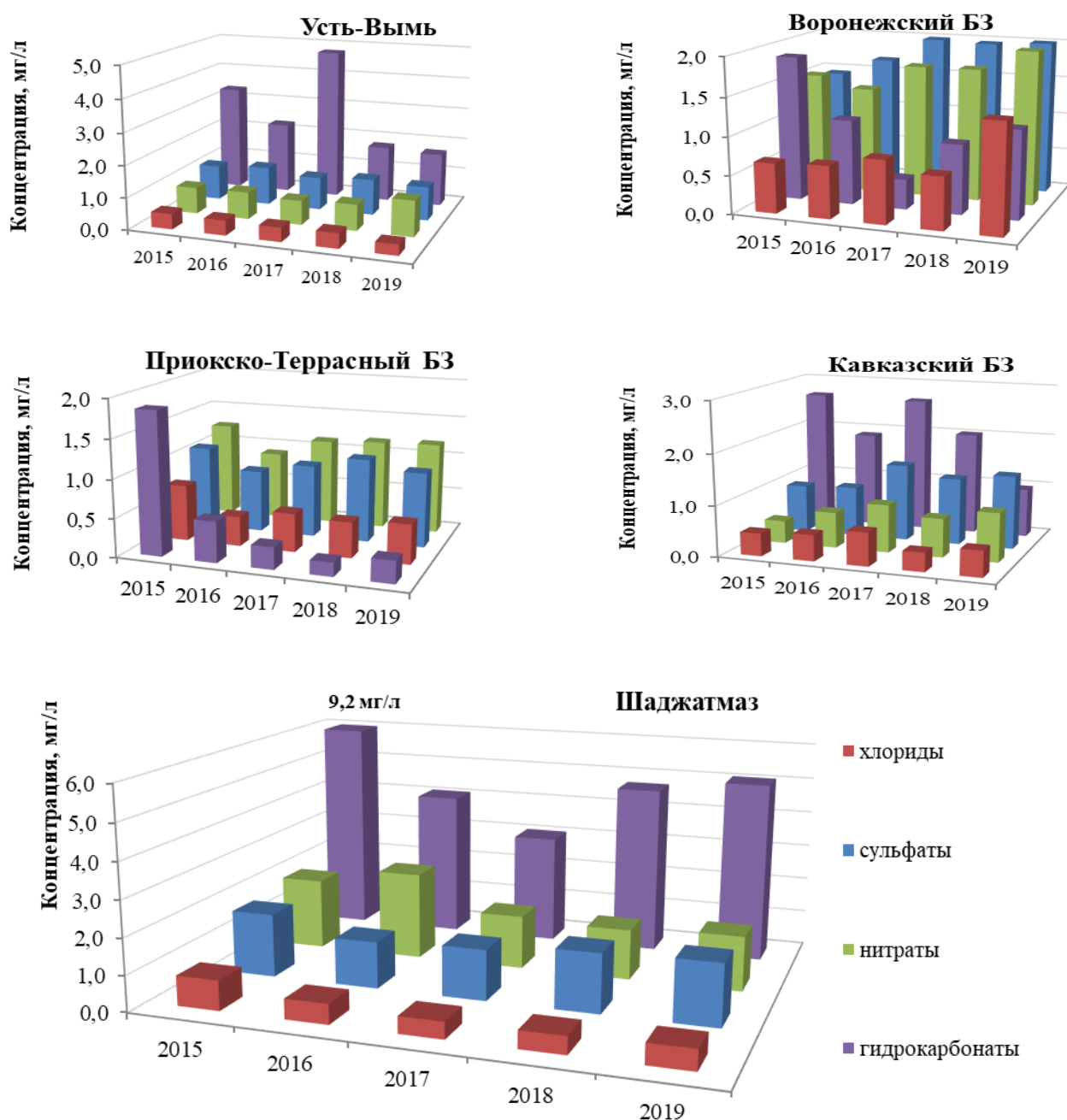


Рис. 1.3.2.1. Изменение содержания анионов в атмосферных осадках фоновых станций ЕТР в период с 2015 по 2019 гг.

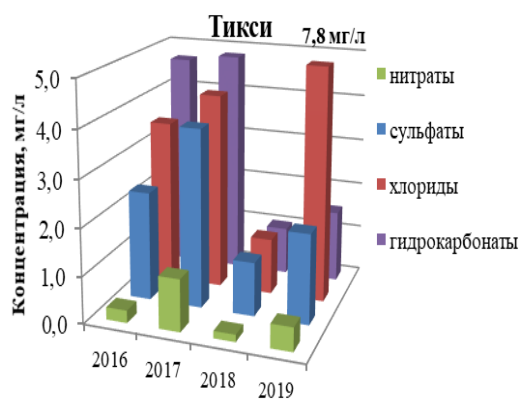
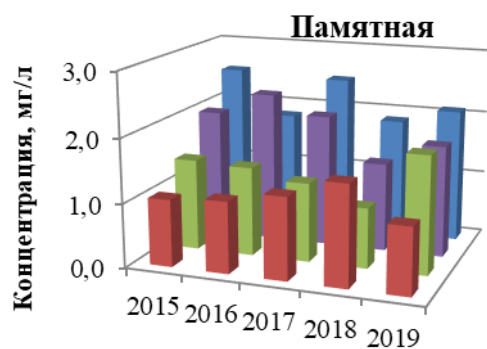
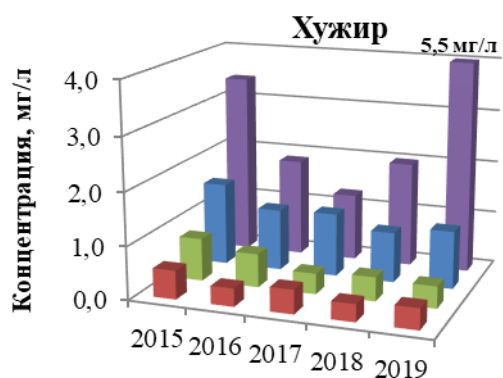
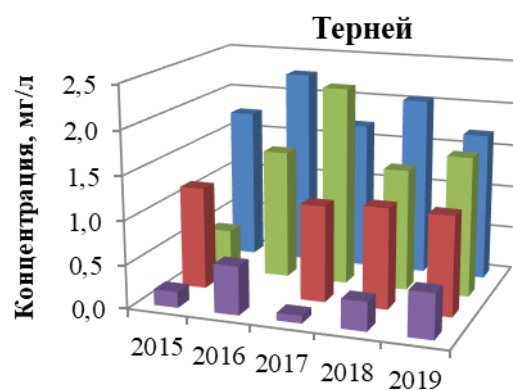
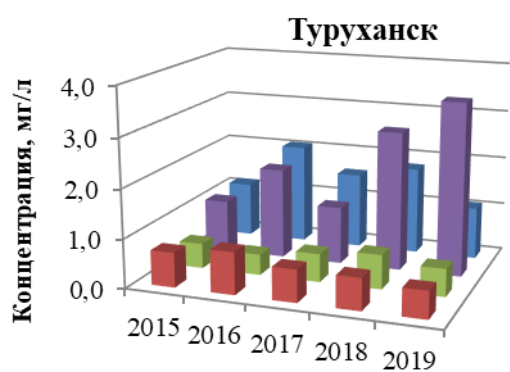


Рис. 1.3.2.2. Изменение содержания анионов в атмосферных осадках фоновых станций АТР в период с 2015 по 2019 гг.

Выпадение веществ с осадками. Значения выпадений основных кислотообразующих соединений серы (S) и азота ($N(NO_3)$, $N(NH_4)$ и ΣN) и суммарные влажные выпадения (P) за 2019 г., а также средние за период 2015-2019 гг. значения выпадений этих веществ с атмосферными осадками представлены в таблицах 1.3.2.3 и 1.3.2.4.

В 2019 г., как и в предыдущие годы, основной вклад в массу влажных выпадений вносили гидрокарбонаты и сульфаты, на долю которых в среднем приходилось от 30 до 55% на ЕТР и от 30 до 70% на АТР. Вклад азотосодержащих соединений в общую массу выпадений был максимальным (35%) в осадках Приокско-Террасного БЗ. Для большинства осадков как на ЕТР, так и на АТР вклад азотосодержащих соединений составил порядка 25%, а минимальный вклад не более 10 % характерен для осадков Тикси, Хужира и Туруханска.

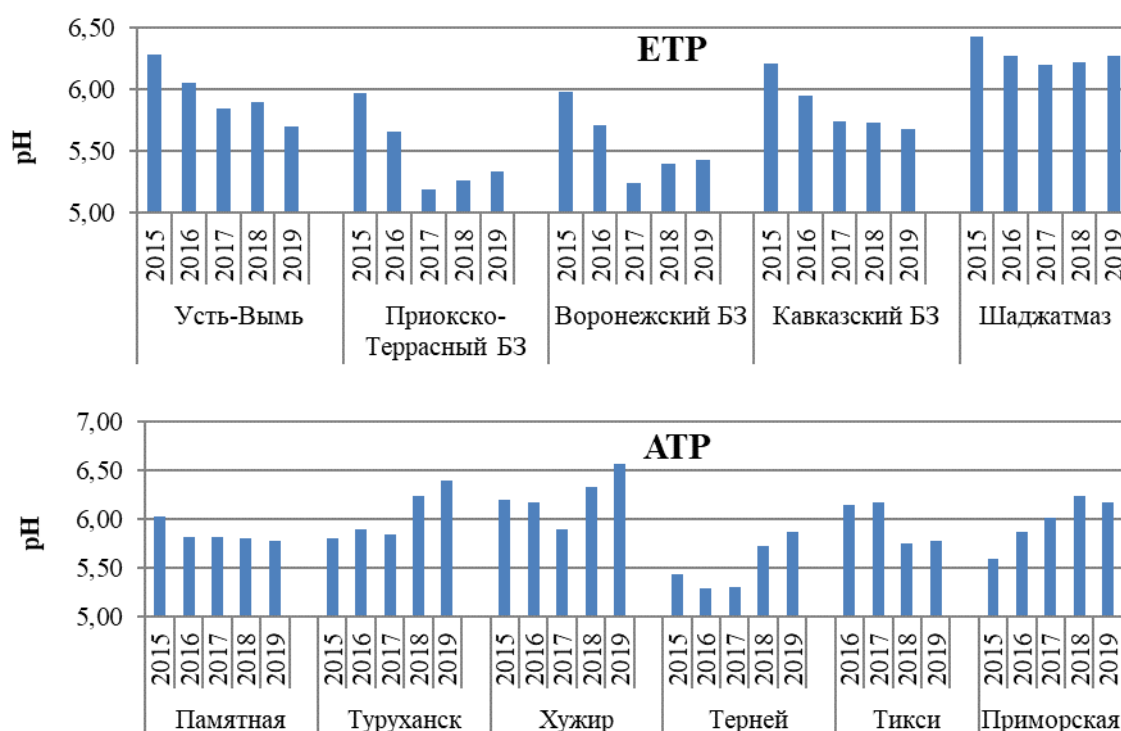


Рис. 1.3.2.3. Изменение среднегодовых значений pH атмосферных осадков фоновых станций в период с 2015 по 2019 гг.

Величина суммарных влажных выпадений загрязняющих компонентов на большинстве станций в значительной степени определялась суммой осадков. Влажные выпадения веществ всегда более высокие на станциях с высоким количеством осадков. Так, в Кавказском БЗ при средневзвешенной минерализации 5,3 мг/л суммарные выпадения в 2019 г. составили 9,3 т/км² (при годовой сумме осадков 1760,8 мм), а в Усть-Выми 4,3 т/км² при средневзвешенной минерализации 5,7 мг/л и годовой сумме осадков 769,2 мм.

В 2019 г. на всех фоновых станциях ЕТР превалировало выпадение суммарного азота над серой (табл. 1.3.2.3, рис. 1.3.2.4). Максимум выпадений серы и суммарного азота с осадками отмечался в Кавказском БЗ, что обуславливается выпавшей суммой осадков.

На равнинных станциях ЕТР в Усть-Выми, Приокско-Террасном и Воронежском БЗ поступление суммарного азота за период 2015-2019 гг. не превышало 0,5 т/км²/год. В горных

районах ЕТР в Кавказском БЗ и Шаджатмазе поступление суммарного азота было практически в 2 раза выше.

Превышение поступления с осадками азота аммиачного ($N(NH_4)$) над азотом нитратным ($N(NO_3)$) отмечалось за весь период 2015-2019 гг. в Усть-Выми и Шаджатмазе и в отдельные годы в Приокско-Тerrasном и Кавказском БЗ.

Таблица 1.3.2.3. Выпадение серы, азота и суммы ионов с осадками, 2019 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						
ЕТР								
Усть-Вымь	769,2	0,27	0,19	0,25	0,44	4,3	1,30	0,61
Приокско-Тerrasный БЗ	523,6	0,17	0,14	0,12	0,26	2,1	0,84	0,66
Воронежский БЗ	429,3	0,20	0,20	0,14	0,34	4,2	0,71	0,58
Кавказский БЗ	1760,8	0,30	0,38	0,32	0,70	9,3	0,85	0,43
Шаджатмаз	592,6	0,11	0,21	0,43	0,64	7,2	2,12	0,17
АТР								
Памятная	399,4	0,27	0,16	0,18	0,34	3,6	1,15	0,78
Туруханск	882,8	0,31	0,11	0,11	0,22	6,7	0,94	1,43
Хужир	160,8	0,06	0,01	0,03	0,04	1,5	1,81	1,38
Приморская	881,3	0,57	0,30	0,44	0,74	7,1	1,44	0,77
Терней	790,4	0,41	0,26	0,14	0,40	5,0	0,55	1,01
Тикси	173,5	0,11	0,02	0,04	0,06	3,0	2,22	1,74

Таблица 1.3.2.4. Среднее выпадение за период серы, азота и суммы ионов с осадками, 2015-2019 гг.

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						
ЕТР								
Усть-Вымь	651,4	0,24	0,13	0,25	0,38	4,5	1,91	0,63
Приокско-Террасный БЗ	581,0	0,19	0,14	0,14	0,28	2,5	0,98	0,65
Воронежский БЗ	580,5	0,35	0,22	0,17	0,39	4,3	0,77	0,91
Кавказский БЗ	1982,8	0,81	0,34	0,39	0,73	12,2	1,15	1,10
Шаджатмаз	609,6	0,31	0,24	0,36	0,60	7,2	1,49	0,52
АТР								
Памятная	418,7	0,28	0,12	0,14	0,26	3,7	1,16	1,08
Туруханск	687,0	0,33	0,09	0,09	0,18	4,5	1,09	1,83
Хужир	165,1	0,06	0,02	0,04	0,06	1,0	1,88	1,13
Приморская	924,5	0,95	0,38	0,56	0,94	9,5	1,49	1,01
Терней	815,5	0,48	0,23	0,19	0,42	5,3	0,82	1,16
Тикси	217,8	0,17	0,03	0,06	0,09	3,1	2,11	2,02

* Данные по Тикси представлены за 2016-2019 гг.

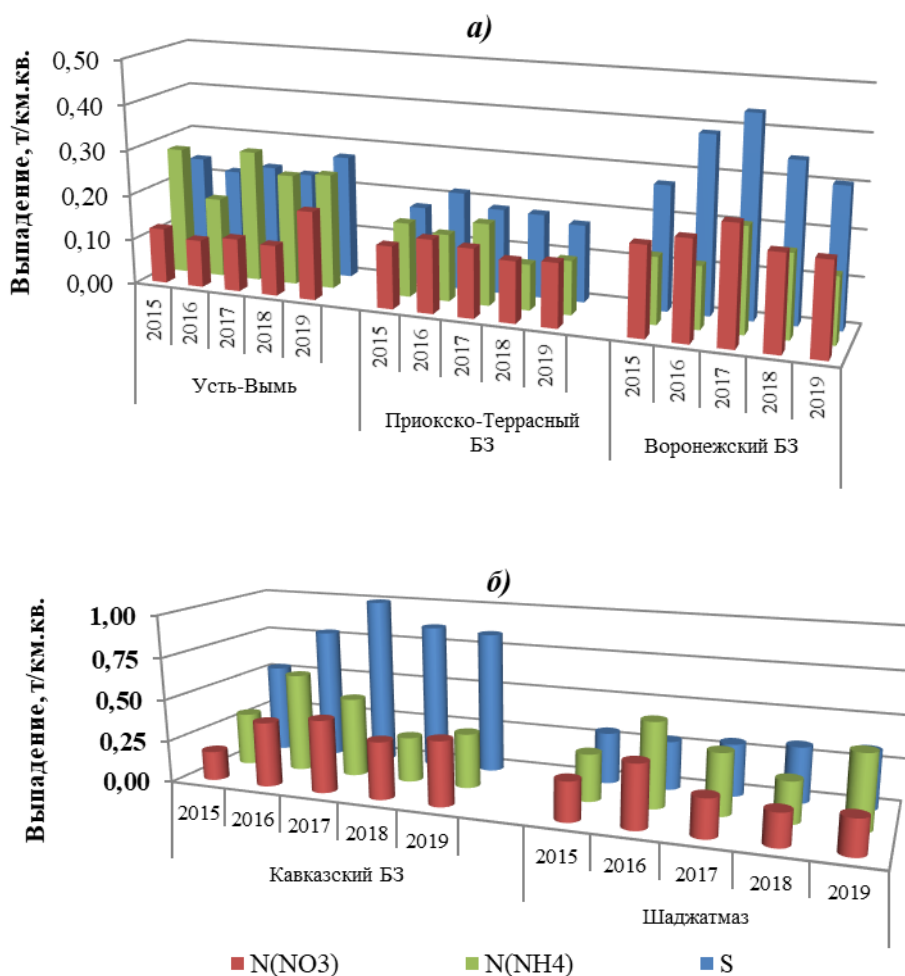


Рис. 1.3.2.4. Выпадения серы (S), азота нитратного (N(NO₃)) и азота аммонийного (N(NH₄)) с атмосферными осадками на ЕТР в период с 2015 по 2019 гг.

Для фоновых станций АТР характерна обратная картина выпадение серы с осадками превышало выпадение суммарного азота практически в 1,5 раза (рис. 1.3.2.5).

Максимальное поступление серы характерно для ст. Приморская и за период 2015-2019 гг. составило 0,6-1,3 т/км²/год. На остальных фоновых станциях АТР поступление серы, как правило, не превышало 0,5 т/км², с превышением в 2016 г. на ст. Терней (0,7 т/км²), что связано с максимальным количеством выпавших в этот год осадков (1004,8 мм). Снижение поступления серы с осадками на АТР связано с уменьшением содержания сульфатов.

Для большинства станций АТР характерно преобладание поступления азота аммиачного над азотом нитратным. Диапазон изменения этих величин составил от 0,2 до 0,8 т/км²/год для азота аммиачного и от 0,1 до 0,5 т/км²/год для азота нитратного. Как правило, низкое поступление суммарного азота наблюдалось в районе ст. Хужир, максимальное ст. Приморская.

В целом за период 2015-2019 гг. для большинства станций отмечено снижение величины суммарных влажных выпадений по сравнению со средним значением за 5 лет. Это связано с уменьшением содержания ионов в осадках, в основном гидрокарбонатов на ЕТР и сульфатов на АТР. При этом за весь рассматриваемый период значимые направленные изменения этой величины наблюдались только в Туруханске и Приокско-Террасном БЗ (рис. 1.3.2.6).

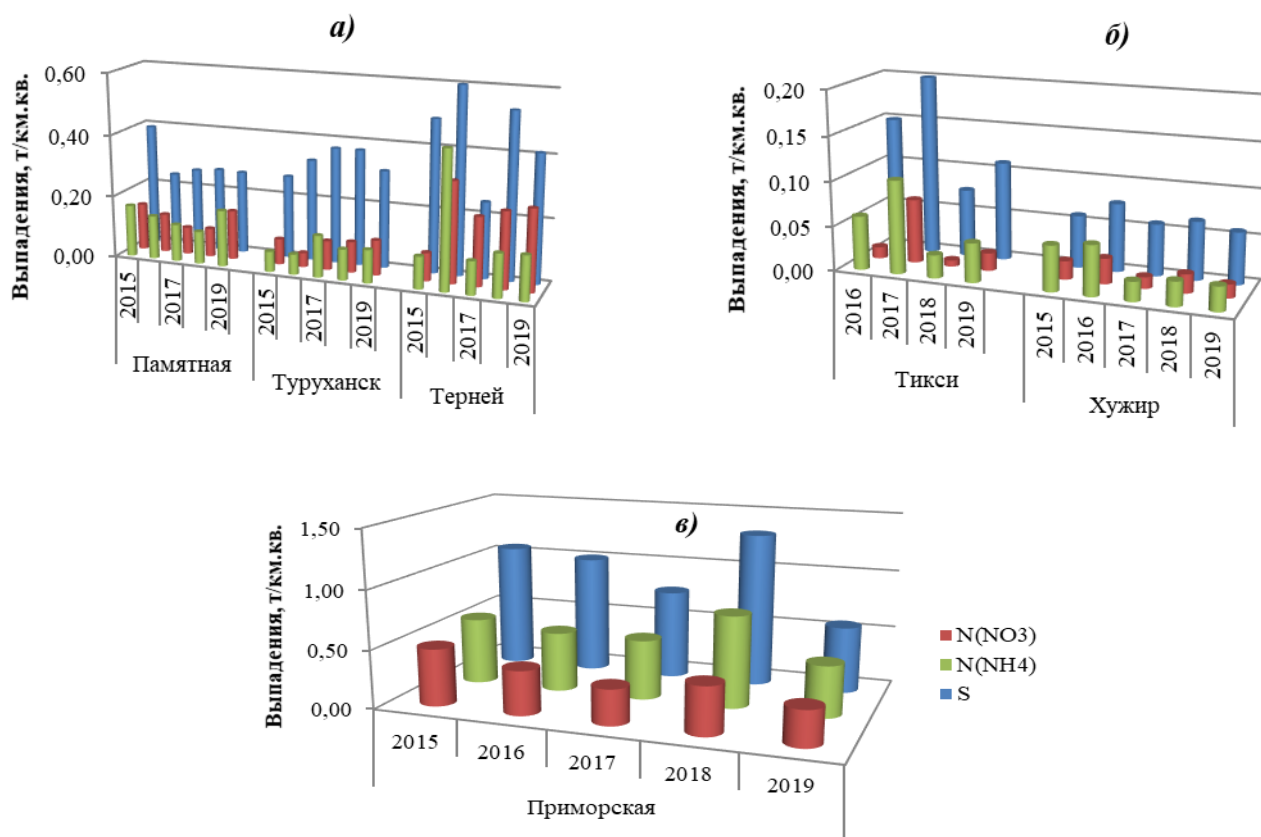


Рис. 1.3.2.5. Выпадения серы (S), азота нитратного ($N(NO_3)$) и азота аммонийного ($N(NH_4)$) с атмосферными осадками на АТР в период с 2015 по 2019 гг.

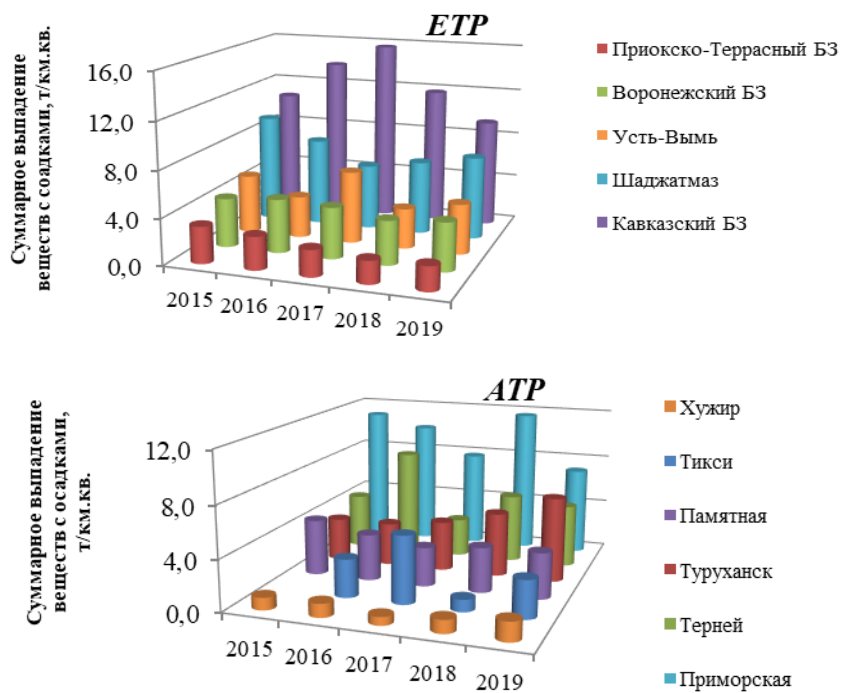


Рис. 1.3.2.6. Суммарное поступление веществ с осадками на фоновых станциях в период с 2015 по 2019 гг.

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

На азиатской территории России с 2000 г. работают 4 станции международной Сети мониторинга выпадения кислотных осадков в Восточной Азии (ЕАНЕТ): три в районе оз. Байкал - Иркутск (городская), Листвянка (региональная) и Монды (фоновая); одна в Приморском крае – Приморская (региональная).

По данным измерений в 2019 г. среднегодовое содержание газовых примесей в воздухе на всех станциях возросло по сравнению с предыдущим годом. Наибольший рост наблюдался для аммиака, его среднегодовая концентрация оказалась выше или близка к среднему многолетнему за последние 10 лет. Содержание SO_2 на станции Листвянка превысило уровни, отмеченные на других станциях ЕАНЕТ. В 2019 г. отмечено снижение концентраций азот- и серосодержащих аэрозолей в целом на всех станциях. На станции Монды концентрации нитратов приблизились к уровню среднего многолетнего, а в Приморье их значения стабилизируются. В общем составе взвешенных частиц наибольшие концентрации за весь период наблюдения на всех станциях ЕАНЕТ характерны для сульфатов, определяющих 40-60% состава атмосферных аэрозолей по массе. Наиболее высокие значения содержания практически всех ионов характерны для аэрозолей в Приморском крае, где также заметен и значительный вклад азотсодержащих соединений (рис. 1.4.1). В районе озера Байкал сохранялись более низкие значения, а содержание практически всех основных ионов в аэрозолях воздуха уменьшилось вдвое.

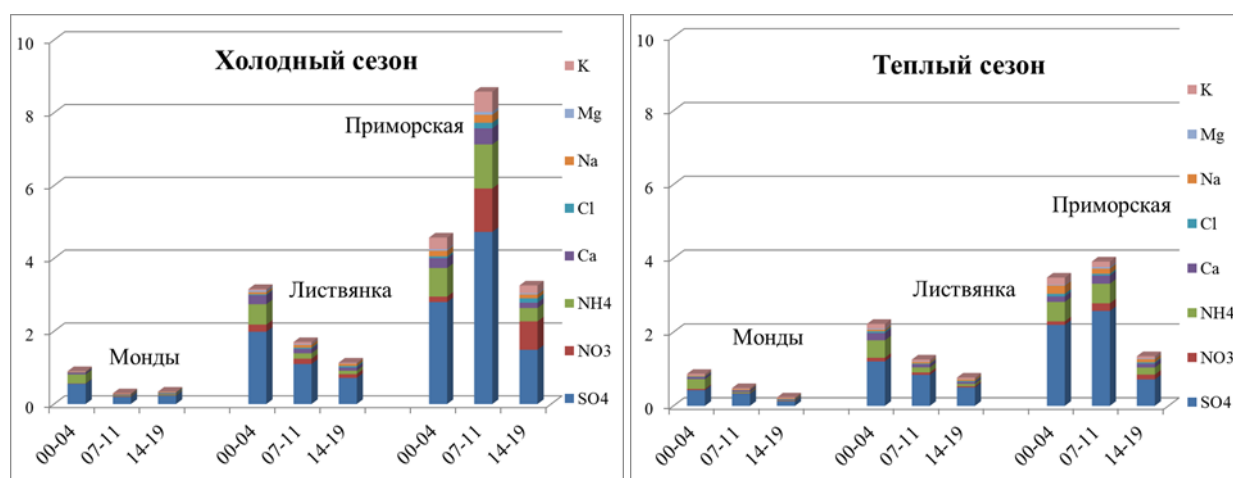


Рис. 1.4.1 Изменение среднего химического состава аэрозолей ($\text{мкг}/\text{м}^3$) на станциях ЕАНЕТ в холодный (слева) и теплый (справа) периоды по наблюдениям в 2000-2019 г.

В годовом ходе аэрозолей сульфатов и нитратов на региональных станциях хорошо выражен максимум в зимний сезон. Для Листвянки и Приморской среднесезонные концентрации продолжали снижаться по сравнению с периодом 2007-2011 годов. В целом уровень концентраций стал ниже значений, зарегистрированных в начале периода многолетних измерений.

Концентрации серо- и азотсодержащих веществ в воздухе на станциях в районе оз. Байкал продолжают снижаться на среднегодовом уровне по сравнению с периодом 2015-2017 гг. (рис. 1.4.2). На станции Приморская в 2017-2019 гг. содержание в атмосфере серо- и азотсодержащих веществ (нитратов и ионов аммония) в аэрозолях было значительно меньше по

сравнению с периодом 2013-2015 гг.

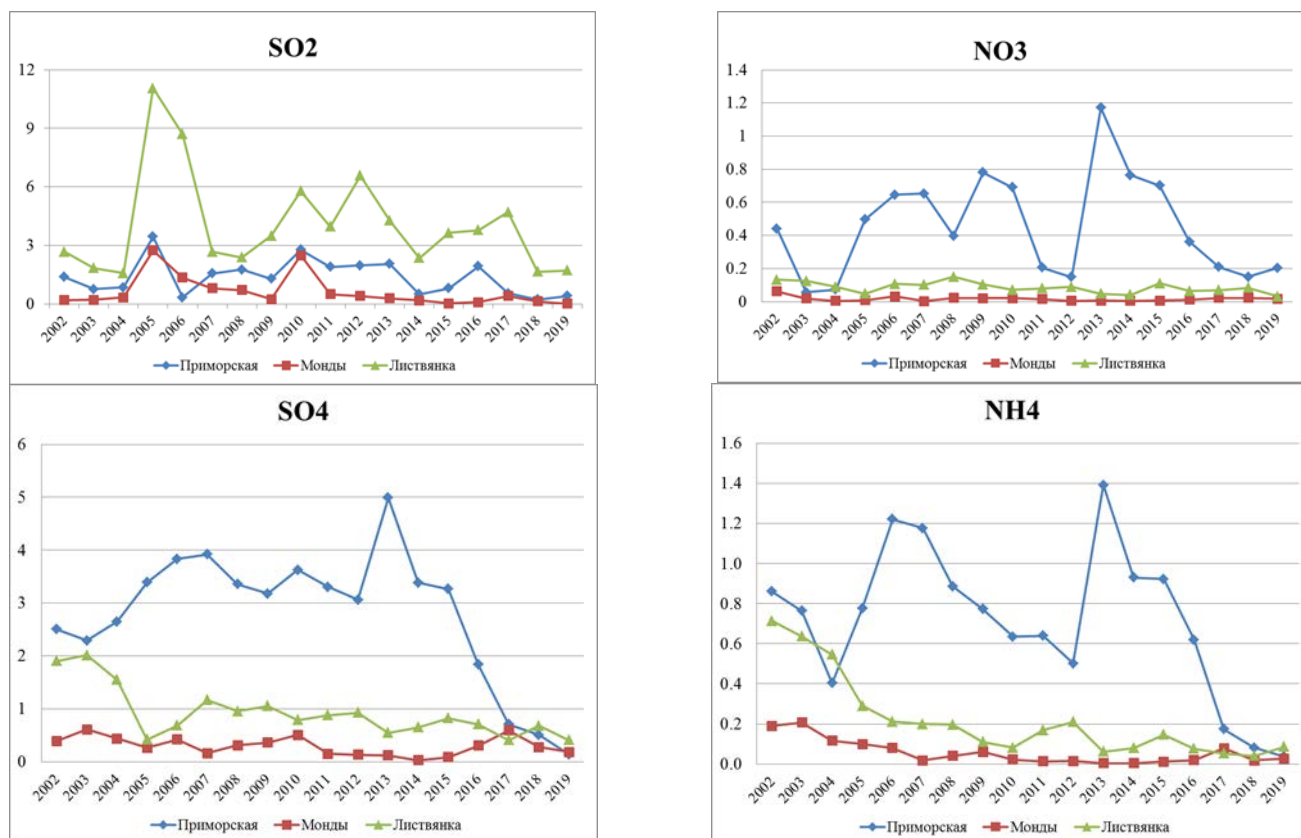


Рис. 1.4.2 Изменения средних годовых концентрации соединений серы (слева) и азота (справа) в воздухе на станциях ЕАНЕТ (мкг/м³)

В начале 2019 г. в зимние месяцы в районе станции Приморская наблюдалось аномально низкое количество осадков (менее 1-1,5 мм в месяц). Как и в предыдущие годы, содержание сульфатов в весенних осадках было в 3-7 раз выше, чем в другие месяцы года, а концентрации нитратов в течение всего 2019 г. имели сравнимые значения.

В 2019 г. сезонные изменения выпадений веществ определялись главным образом годовым ходом осадков. Наибольшие потоки нитратов и сульфатов отмечены в районе станции в мае и августе (NO_3^- : 0,17-0,28 г/м² и SO_4^{2-} - 0,23 г/м²), в начале осени: NO_3^- - 0,19 г/м²; SO_4^{2-} - 0,26 г/м², а за все месяцы холодного сезона влажные выпадения не превысили 0,29 г/м² для NO_3^- и 0,53 г/м² для SO_4^{2-} (рис. 1.4.3). Выпадения за 2019 г. составили: сульфатов - 0,27 г/м², нитратов - 1,0 г/м², аммония 0,37 г/м².

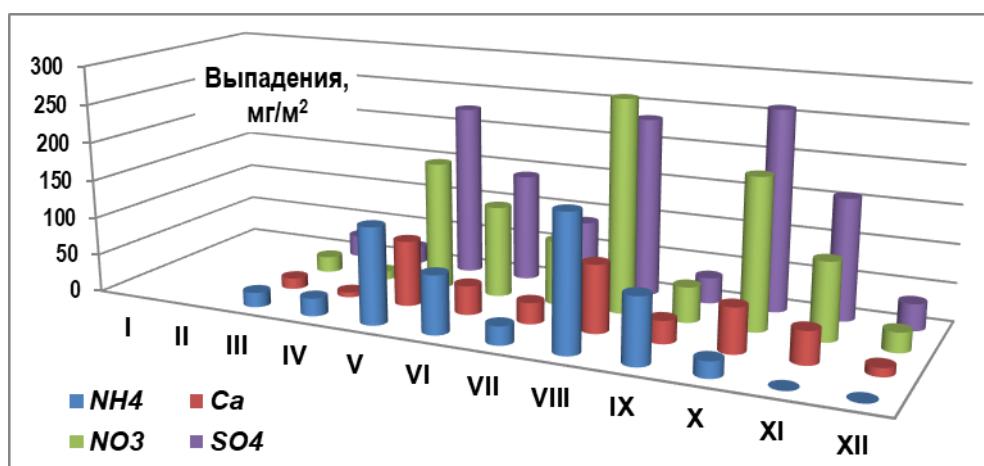
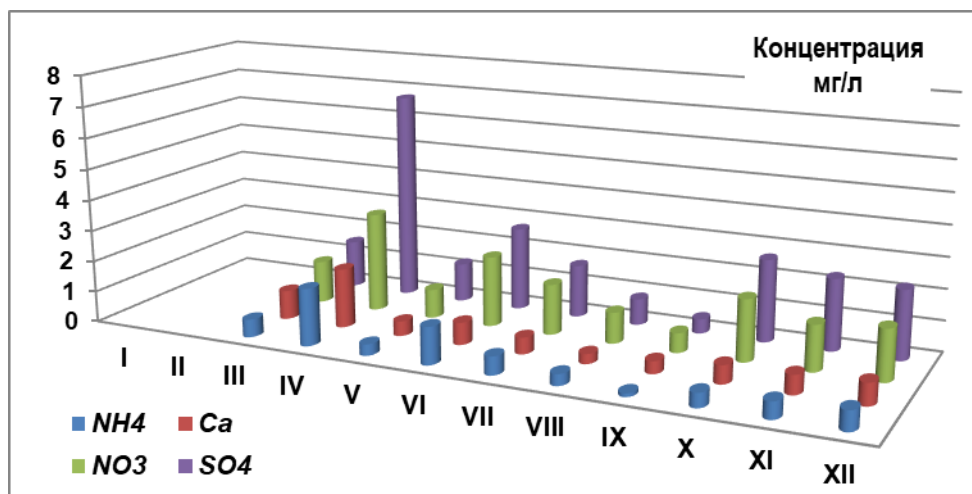


Рис. 1.4.3 Годовой ход концентраций (слева) и выпадений (справа) основных кислотообразующих ионов с осадками на Дальнем Востоке (ст. Приморская) в 2019 году

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

Главную роль в формировании трансграничного загрязнения воздуха и осадков играет перенос выбросов 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 (трансграничное загрязнение). В рамках выполнения международной «Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе» (ЕМЕП – Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe) в 2019 г. проводились наблюдения на четырех станциях ЕМЕП, расположенных в северо-западном регионе России (Янискоски, Пинега) и в центральной части Европейской России: на станциях Данки (юг Московской области), Лесной заповедник (Тверская область). Основные измерения по программе наблюдений ЕМЕП представляют собой регулярный анализ содержания в воздухе и атмосферных осадках основных химических соединений, определяющих кислотно-щелочной баланс. По результатам обработки годовых массивов полученных данных оценены реальные величины атмосферных выпадений на земную поверхность (нагрузок) серы и азота, образующих приоритетные кислотообразующие соединения, в районах размещения станций.

При использовании традиционного анализа степени закисления атмосферных осадков по величине pH, 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. Для различных районов земного шара и в разные сезоны pH атмосферных осадков варьируется в весьма широких пределах, внутри которых осадки условно можно подразделить на: кислые (при $\text{pH} < 4$), слабокислые ($4 < \text{pH} < 5$), природно-нейтральные ($5 < \text{pH} \leq 7$) и слабощелочные ($\text{pH} > 7$). В 2019 г. кислые осадки ($\text{pH} < 4$) практически не наблюдались; на всех станциях повторяемость выпадений атмосферных осадков с pH от 5 до 6 превышала 50% (табл. 1.5.1).

Таблица 1.5.1. Кислотность атмосферных осадков в районах расположения российских станций ЕМЕП в 2019 г.

Станция	pH, среднее	Доля проб в диапазоне pH, %				
		< 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	> 7
Янискоски	5,61	0	6	53	39	3
Пинега	5,41	2	11	56	31	0
Лесной	5,12	0	32	60	7	1
Данки	5,49	0	9	72	17	2

Величина выпадений соединений серы и азота на подстилающую поверхность позволяет оценить степень негативного воздействия загрязнения атмосферы на состояние окружающей среды. Так, в долгосрочной перспективе избыточное поступление этих веществ может привести к закислению почвенных растворов и ухудшению свойств почвы. Поток загрязняющих веществ из атмосферы поступает с атмосферными осадками (влажные выпадения) и при осаждении (поглощении) веществ в виде газов и аэрозольных частиц на подстилающую поверхность (сухие выпадения). Поток влажных выпадений серы и азота (нитратного и аммонийного) на подстилающую поверхность определяется концентрациями осадков этих соединений.

По данным многолетних наблюдений сульфат-ион является 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 2019 г. составляла 0,54 мг S /л на станции Янискоски, 0,95 мг S/л на станции Пинега, 0,54 мг S/л на станции Лесной заповедник, 0,62 мг S/л на станции Данки (в районе Приокско-Террасного биосферного заповедника). Наименьшее значение среднегодовой концентрации азота составило 0,07 мг N/л на станции Янискоски (Мурманская обл.), на территориях более низких широт вдали от промышленных районов и крупных городов (станции Пинега и Лесной заповедник) 0,07 – 0,16 мг N/л, на станции Данки – 0,18 мг N/л. Диапазон варьирования концентраций ионов аммония в осадках составил 0,14 - 0,54 мг N/л. 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.

Рассчитанные по средневзвешенным концентрациям и месячным суммам выпавших осадков величины влажных выпадений для районов станций составляли в 2019 г.: 0,32–0,69 и 0,16–0,43 г/м² в год для серы и суммарного азота соответственно. Для всех станций ЕМЕП потоки влажных выпадений серы и азота в зимний период были существенно ниже, чем в летний. Доля аммонийного азота составила около 60% от суммарного влажного выпадения азота.

Вариации выпадений за многолетний период связаны с межгодовой изменчивостью сумм осадков и могут составить десятки процентов от среднемноголетних значений. 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 практически отсутствие выраженного уменьшения сумм влажных выпадений за период действия Гетеборгского протокола (1999 г.) с незначительными характеристиками линейного тренда. По результатам расчета многолетних выпадений сумм нитратных и аммонийных соединений с осадками, представленным на рис. 1.5.2, в целом отмечается рост выпадений азота на северных российских станциях ЕМЕП. Темпы этого роста различны от станции к станции, что может быть связано с высокой межгодовой вариабельностью значений.

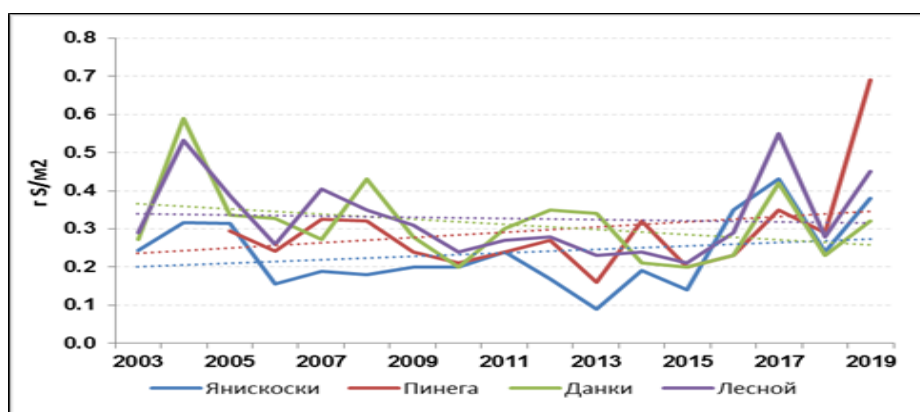


Рис. 1.5.1 Многолетние выпадения сульфатной серы из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП (гS/м²/год)

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.

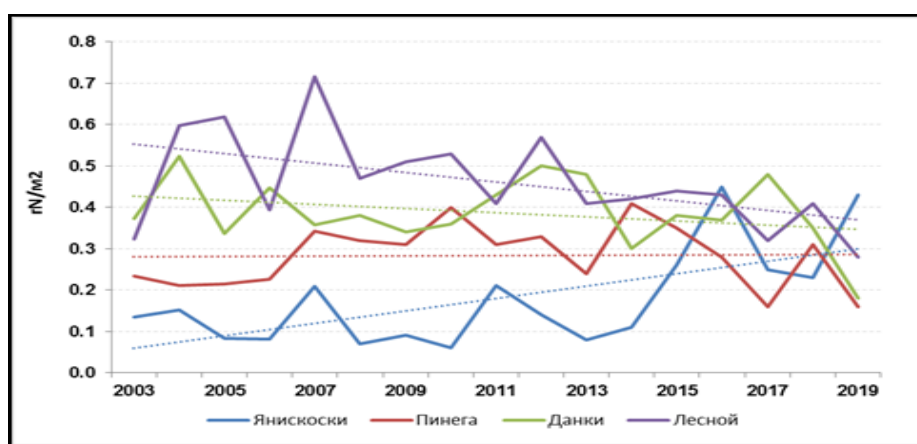


Рис. 1.5.2 Многолетние выпадения суммарного азота (нитратного и аммонийного) из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП (г N/м²/год)

Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2019 г. и значений критических нагрузок по этим элементам для районов расположения станций, представленных в табл. 1.5.2, 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. Для азота на северных станциях ЕМЕП суммарные выпадения также близки к критическим значениям, 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 2019 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	0,38	0,32-0,64	0,43	<0,28
Пинега	0,69	0,32-0,64	0,16	<0,28
Лесной	0,45	1,6-2,4	0,28	0,56-0,98
Данки	0,32	1,6-2,4	0,18	0,56-0,98

2. ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

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

Станции комплексного фонового мониторинга (СКФМ) организованы в пределах особо охраняемых природных территорий федерального значения в биосферных заповедниках и национальных парках, которые приурочены к основным биоклиматическим зонам европейской и азиатской части России, а также к областям высотной поясности (рис. 2.1.1). Все эти территории, за исключением Алтайского БЗ (Яйлю), включены во Всемирную сеть биосферных резерватов ЮНЕСКО. Удаленность от источников загрязнения, ограничение антропогенной нагрузки, максимальная сохраняемость наземных и водных экосистем в их естественном состоянии позволяют считать поступление загрязняющих веществ на подобных территориях фоновым и оценивать на этой основе параметры глобального рассеивания поллютантов в биосфере.

На протяжении более 25 лет на постоянных пробных площадках СКФМ, выбранных в наиболее представительных биогеоценозах, с периодичностью 1 раз в 3-5 лет проводятся регулярные наблюдения за содержанием загрязняющих веществ в почвах и растительности. В 2019 г. данные наблюдения проводились в Воронежском, Кавказском, Астраханском, Волжско-Камском и Алтайском (Яйлю) биосферных заповедниках.



Рис. 2.1.1. Местоположение опорных площадок пробоотбора почв и растительности на СКФМ: 1 – НП Смоленское Поозерье, 2 – Приокско-Тerrasный БЗ, 3 – Воронежский БЗ, 4 – Кавказский БЗ, 5 – Астраханский БЗ, 6 – Волжско-Камский БЗ, 7 – Алтайский БЗ (Яйлю), 8 – Баргузинский БЗ, 9 – Командорский БР

Отбор проб компонентов системы «почва-растение» на СКФМ осуществляется по унифицированной схеме. Смешанные образцы почв отбираются методом конверта: в травянистых экосистемах с площади 100 м² из верхнего минерального слоя профиля на глубину 10 см, а в лесных экосистемах с площади 2500 м² из горизонта лесной подстилки и из

нижележащих минеральных горизонтов на глубину 10 см. Средние пробы растительности отбираются из их фотосинтезирующих частей по фракциям: листва и хвоя древостоев, надземная часть разнотравья, гаметофиты мохового яруса.

Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах

За многолетний период наблюдений на СКФМ величины содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах почв в целом были близки к оценкам среднемировых кларков элементов в верхней части континентальной земной коры, установленных во второй половине XX века и уточненных в новейшее время (табл. 2.1.1). Исключение составляет повышенный диапазон варьирования содержания соединений свинца в горных бурых лесных почвах Кавказского БЗ, который обусловлен литологической обогащенностью этим элементом материнских гранито-гнейсовых пород Альпийско-Гималайского складчатого пояса.

Таблица 2.1.1. Средние величины содержания тяжелых металлов (мг/кг) в почвах СКФМ за период 2015-2019 гг. и диапазоны значений показателей за период 2009-2019 гг.

СКФМ	Опробованные почвы	Свинец, мг/кг		Кадмий, мг/кг		Медь, мг/кг	
		Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.
Центральный федеральный округ							
НП Смоленское Поозерье	Дерново-подзолистые супесчаные	3,7-10,0	8,8	0,12-0,35	0,35	2,2-16,0	11,9
Приокско-Террасный БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	1,4-19,0	4,6	0,02-0,66	0,64	0,53-58,0	2,6
Воронежский БЗ	Дерново-подзолистые песчаные	1,30-31,0	3,4	0,03-0,50	0,07	1,4-7,5	1,4
Южный федеральный округ							
Кавказский БЗ	Горные бурые лесные суглинистые	6,3-29,0	29,0	0,05-0,32	0,16	7,8-27,6	15,1
Астраханский БЗ	Аллювиальные луговые и лугово-болотные суглинистые	1,5-12,6	12,6	0,07-0,43	0,43	9,7-14,5	14,5
Приволжский федеральный округ							
Волжско-Камский БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	2,9-12,0	3,2	0,05-0,56	0,11	2,6-20,4	2,6
Сибирский федеральный округ							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Горно-луговые суглинистые	3,7-12,5	5,4	0,05-0,80	0,22	6,10-57,0	8,5
Баргузинский БЗ	Горные мерзлотно-таежные суглинистые	2,4-8,2	4,9	0,04-2,80	0,23	3,1-12,0	6,1
Дальневосточный федеральный округ							
Командорский БР	Подзолы песчаные	5,2	5,2	0,17	0,17	10,4	10,4
ОДК _{вал}		32 / 65 / 130		0,5 / 1 / 2		33 / 66 / 132	
Кларк почв**		16 / 17 / 17 / 17		0,13 / 0,10 / 0,06 / 0,64		47 / 14 / 27 / 39	

* ОДК_{вал} по ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» для песчаных и супесчаных почв / кислых почв суглинистого и глинистого состава с $pH_{КСЛ} < 5,5$ / близких к нейтральным и нейтральным почвам суглинистого и глинистого состава с $pH_{КСЛ} > 5,5$ соответственно

** Кларки элементов в верхней части континентальной земной коры по: А.П.Виноградову (1962) / К.Н.Wedepohl (1995) / Z.Hu and S.Gao (2008) / Н.А.Григорьеву (2009)

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

- для соединений свинца в 3-5 раз для почв НП Смоленское Поозерье, Кавказского, Волжско-Камского, Алтайского (Яйлю) и Баргузинского БЗ; в 8-14 раз для почв Астраханского и Приокско-Террасного БЗ; в 24 раза для почв Воронежского БЗ;
- для соединений кадмия в 3-6 раз для почв НП Смоленское Поозерье, Кавказского и Астраханского БЗ; в 11-17 раз для почв Воронежского, Волжско-Камского и Алтайского (Яйлю) БЗ; в 33-70 раз для почв Приокско-Террасного и Баргузинского БЗ;

- для соединений меди в 2-5 раз для почв Воронежского, Кавказского, Астраханского и Баргузинского БЗ; в 7-9 раз для почв НП Смоленское Поозерье, Волжско-Камского и Алтайского (Яйлю) БЗ; в 109 раз для почв Приокско-Тerrasного БЗ.

Спорадическое повышение концентраций тяжелых металлов в почвах Приокско-Тerrasного и Воронежского БЗ, где отмечено существенное расширение диапазона варьирования контролируемых показателей, может свидетельствовать об эпизодах увеличения антропогенной нагрузки на наземные экосистемы Центрального федерального округа промышленно развитого региона с повышенной плотностью населения.

Согласно данным последних сроков мониторинговых наблюдений, концентрации соединений свинца, кадмия и меди в поверхностных горизонтах почв СКФМ, как правило, укладываются в диапазоны варьирования показателей, установленных за период с 2009 по 2019 гг. Однако в почвах Астраханского БЗ в 2019 г. зафиксированы максимальные за последнюю декаду концентрации контролируемых тяжелых металлов, а в почвах Кавказского БЗ и НП Смоленское Поозерье - максимальные концентрации свинца и кадмия соответственно. Проведенное А.Кабата-Пендиас (Kabata-Pendias, 2011) обобщение мировых данных по содержанию соединений кадмия в почвах показало, что фоновые уровни этого поллютанта не превосходят 0,5 мг/кг, и все более высокие значения свидетельствуют об антропогенном вкладе в содержание Cd в верхнем слое почв. Вместе с тем, в почвах Воронежского БЗ в 2019 г. отмечаются минимальные за период 2009-2019 гг. концентрации меди. Межгодовое варьирование показателей, безусловно, во многом определяется естественным пространственным варьированием свойств почв на площадках пробоотбора, что требует для установления временных трендов загрязнения почв тяжелыми металлами их непрерывного систематического мониторинга.

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

Содержание в почвах СКФМ приоритетных загрязнителей органической природы характеризует их экологическое состояние в основном как благополучное. Как правило, в поверхностных горизонтах почв обнаруживаются лишь следовые количества поллютантов, поступивших в наземные экосистемы заповедников и национальных парков вследствие глобального рассеяния в атмосфере (табл. 2.1.2). Так, содержание в почвах СКФМ бенз(а)пирена - на один-два порядка меньше значений ПДК. Лишь единично за 10-летний период наблюдений в 2009 г. в дерново-подзолистых почвах Воронежского БЗ было отмечено содержание бенз(а)пирена на уровне 0,9 ПДК, однако согласно последнему сроку опробования почв концентрация поллютанта близка к пределу его обнаружения.

В отношении стойкого в природной среде пестицида ДДТ и его метаболитов в почвах СКФМ в последние годы регистрируются концентрации, которые в 3-5 раз ниже установленного ПДК. Однако в ряде почв станций фонового мониторинга с суглинистым составом спорадически отмечаются достаточно высокие остаточные концентрации пестицида, поступившего ранее из атмосферы. Так, суммарное содержание ДДТ и его метаболитов, численно превышающее величину 0,5 ПДК, зарегистрировано в дерново-подзолистых почвах Приокско-Тerrasного БЗ, Воронежского БЗ и Волжско-Камского БЗ, а также в горных мерзлотно-таежных почвах Баргузинского БЗ.

Таблица 2.1.2. Средние величины содержания органических загрязняющих веществ (мкг/кг) в почвах СКФМ за период 2015-2019 гг. и диапазоны значений показателей за период 2009-2019 гг.

СКФМ	Опробованные почвы	Бенз(а)пирен, мкг/кг		сумма-ДДТ, мкг/кг		γ-ГХГЦ, мкг/кг	
		Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.
Центральный федеральный округ							
НП Смоленское Поозерье	Дерново-подзолистые супесчаные	0,2-1,2	0,2	≤0,2-10,0	≤0,2	≤0,2-0,7	≤0,2
Приокско-Террасный БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	0,1-0,9	0,6	0,5-70,8	4,5	≤0,05-6,0	0,3
Воронежский БЗ	Дерново-подзолистые песчаные	0,1-18,1	0,9	0,5-77,9	21,7	≤0,05-10,2	10,2
Южный федеральный округ							
Кавказский БЗ	Горные бурые лесные суглинистые	0,08-1,4	0,2	0,5-41,1	18,5	≤0,05-5,6	0,7
Астраханский БЗ	Аллювиальные луговые и лугово-болотные суглинистые	0,08-0,45	0,1	0,3-25,1	2,9	≤0,05-13,2	1,3
Приволжский федеральный округ							
Волжско-Камский БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	0,1-0,3	0,2	0,5-71,4	35,6	≤0,2-4,5	1,0
Сибирский федеральный округ							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Горно-луговые суглинистые	0,1-3,7	0,5	0,5-52,6	4,8	≤0,05-2,2	0,25
Баргузинский БЗ	Горные мерзлотно-таежные суглинистые	0,3-1,6	0,5	0,5-98,6	15,5	≤0,05-3,4	1,7
Дальневосточный федеральный округ							
Командорский БР	Подзолы песчаные	0,3/ -	0,3	36,0	36,0	1,1	1,1
ПДК		20		100		100	

* - нет данных

При контроле остаточных количеств инсектицида γ-гексахлорциклогексана (γ-ГХЦГ), который был официально запрещен к применению в России в 1990 г., в почвах СКФМ регистрируются значения, которые близки к пределу лабораторного обнаружения и в 50 и более раз ниже установленных ПДК. Это позволяет говорить о фактическом отсутствии в настоящее время загрязнения почв фоновых территорий γ-ГХЦГ.

Фоновое содержание загрязняющих веществ в растительности

Растительный покров является первым ярусом наземных экосистем, который перехватывает и аккумулирует примеси при их сухом осаждении и мокром выпадении из атмосферы. Впоследствии помимо непосредственного фолиарного задержания загрязняющих веществ растения накапливают в своих тканях экотоксиканты, поступающие в них из почвы путем метаболического и/или пассивного поглощения. Таким образом, накопление загрязняющих веществ в растительности служит важной характеристикой экологического состояния наземных экосистем.

По данным последнего срока опробования, а также за период наблюдений 2009-2019 гг. визуальное обследование состояния растительности СКФМ не выявляло видимых признаков нарушений роста и развития фитоценозов, которые могли бы определяться загрязнением окружающей среды.

Содержание контролируемых тяжелых металлов и органических загрязнителей в зеленых частях доминантных видов растений древесного, травянистого и мохового ярусов СКФМ в целом отвечает характеристикам природного фона и находится в более узких пределах колебаний, чем в почвах, что отражает буферную роль почвенной компоненты наземных экосистем в формировании миграционных потоков элементов (табл. 2.1.3).

Поглощение тяжелых металлов из почв сильно варьирует в зависимости от содержания в

них подвижных форм элементов, эдафических условий и вида растений. Поступающие из атмосферы загрязняющие вещества, как правило, характеризуются ионной формой и пополняют пул легкодоступных растений форм. Согласно данным последних мониторинговых наблюдений, коэффициенты накопления тяжелых металлов в растительности напочвенного покрова (КН, рассчитываются как соотношение концентраций элемента в абсолютно сухой массе растения и абсолютно сухой почве) в основном варьируют в диапазоне величин от <0,1 до 2, но КН-Cd в разнотравье Воронежского, Волжско-Камского, Алтайского (Яйлю) и Кавказского БЗ достигают величин 6-15 (рис. 2.1.2). Случаи повышения интенсивности биологической миграции кадмия требуют внимания, так как этот поллютант является высокотоксичным как для растений, поскольку подавляет их ферментативную активность, так и для человека, поскольку вызывает канцерогенез.

Таблица 2.1.3. Средние концентрации тяжелых металлов (мг/кг абсолютно сухой массы) в растительности СКФМ в 2015-2019 гг. и диапазоны значений показателей за период 2009-2019 гг.

Станция КФМ	Проба	Свинец, мг/кг		Кадмий, мг/кг		Медь, мг/кг	
		Диапазон за декаду	2015 г./ 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г./ 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г./ 2019 г.
Центральный федеральный округ							
НП Смоленское Поозерье	Осина, листья	0,3-7,3	1,2	0,18-0,96	0,90	-	5,3
	Липа, листья		3,4		0,39		9,2
	Черника, листья		0,3		0,22		8,0
	Мох		4,0		0,90		4,3
Приокско-Террасный БЗ	Береза, листья	0,1-7,3	7,3	0,15-3,50	0,46	0,7-20,0	2,8
	Разнотравье	0,5-1,5	1,0	0,16-0,71	0,32	1,9-9,0	5,0
Воронежский БЗ	Сосна, хвоя	0,5-6,2	6,2	0,17-3,00	3,00	-	0,4
	Береза, листья	-	2,1	-	4,80		6,0
	Черника, листья	-	2,2	-	0,48		3,1
	Осока	-	1,8	-	1,10		2,5
	Разнотравье	0,1-3,0	3,0	0,10-1,12	1,12		2,4
	Мох	3,1-10,3	10,3	0,40-0,90	0,90		-
Южный федеральный округ							
Астраханский БЗ	Ясень, листья	0,5-7,4	1,0	0,30-5,30	3,10	9,5-107,0	3,2
	Ветла, листья	0,6-2,7	0,6	3,50-29,70	29,70		5,6
	Тростник	0,6-3,3	0,6	0,81-0,92	0,92		4,1
	Ежевика	0,7-17,0	0,7	0,40-17,90	3,50		5,5
Кавказский БЗ	Разнотравье	0,54-2,6	1,1	0,10-2,50	0,92	2,8-24,6	24,6
Приволжский федеральный округ							
Волжско-Камский БЗ	Сосна, хвоя	1,3-2,9	2,5	0,25-0,50	0,40	3,7-18,0	4,2
	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	1,4-3,9	3,0	0,28-2,70	1,50	3,5-9,8	3,5
	Мох	4,0-42,0	37,0	0,70-1,40	0,80	4,2-11,0	5,0
Сибирский федеральный округ							
Баргузинский БЗ	Листва деревьев	0,4-0,543	0,5	0,33-0,88	0,60	0,5-4,0	2,3
	Кедр, хвоя	0,4-1,3	0,7	0,20-0,48	0,30	1,1-2,5	1,9
	Разнотравье	0,3-1,4	0,7	0,06-0,27	0,15	0,8-3,2	1,9
	Мох	1,0-3,5	2,2	0,30-1,30	0,60	2,3-3,2	2,7
Алтайский БЗ (Яйлю)	Разнотравье	0,8-2,6	0,8	0,19-1,50	1,50	2,4-7,2	4,0
Дальневосточный федеральный округ							
Командорский БР	Рододендрон	-	0,5	-	0,10	-	4,0

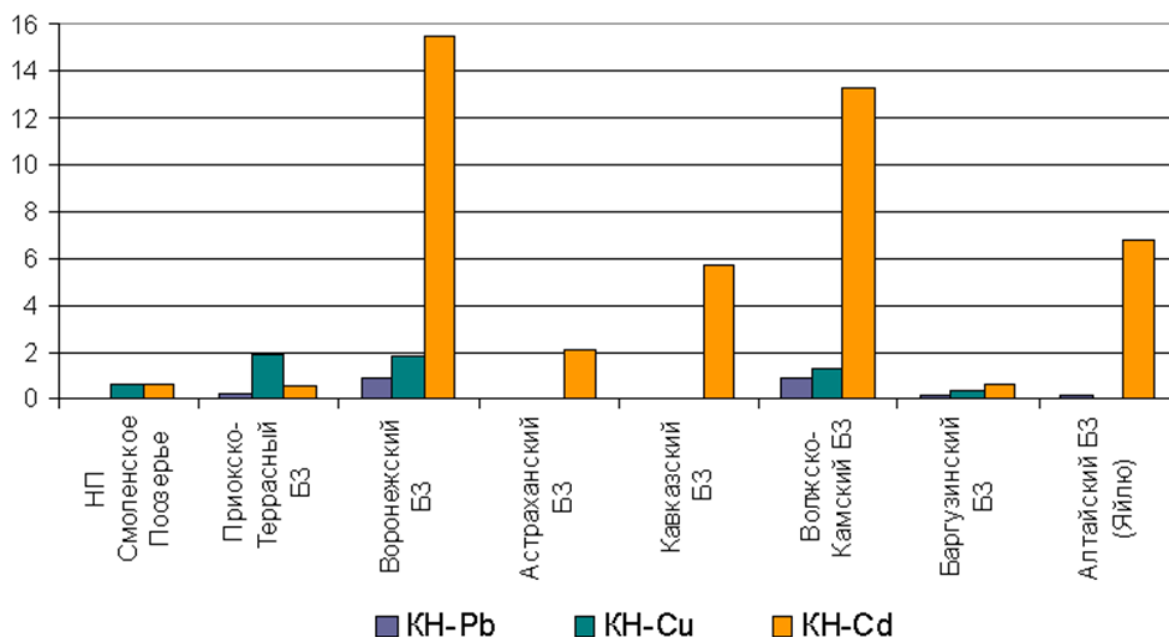


Рис. 2.1.2. Коэффициенты накопления свинца, кадмия и меди в растительности напочвенного покрова СКФМ

Сравнительный анализ величин КН контролируемых тяжелых металлов для отдельных видов растений, совместно произрастающих на площадках СКФМ, показывает, что соединения свинца, как правило, сравнительно больше накапливаются в зеленых частях мхов, чем в листьях цветковых растений (рис. 2.1.3-А). Это может определяться преобладанием фолиарного поступления свинца в мохообразные растения, а также постепенным накоплением поллютанта на поверхности листьев мха в многолетнем цикле его существования. Несколько возрастают значения КН-Pb и в хвое сосны на площадках СКФМ в Воронежском и Волжско-Камском БЗ, продолжительность жизни которой колеблется от 2 до 8 лет. Таким образом, можно предположить, что растительный ярус достаточно эффективно задерживает поступающие из атмосферы соединения свинца, но лишь в незначительной степени потребляет их в процессах корневого питания. По абсолютным значениям текущие концентрации свинца в биомассе большинства видов растительных ассоциаций СКФМ близки к кларку живого вещества 1 мг/кг и несколько повышены лишь в древесных и травянистых растениях Воронежского БЗ.

Переход кадмия в растительность СКФМ (рис. 2.1.3-Б), по-видимому, является видоспецифическим процессом, причем в ряде случаев КН-Cd повышен у растительности древесного яруса, особенно отчетливо в хвое сосны и листьях березы на площадке СКФМ Воронежского БЗ, а также в листьях ветлы на площадке СКФМ Астраханского БЗ. При этом существенное превышение измеренных на всех СКФМ абсолютных величин содержания элемента в растениях над его кларковым значением в живом веществе 0,002 мг/кг может свидетельствовать о расширении техногенного потока кадмия в настоящее время.

Медь относится к необходимым микроэлементам минерального питания растений, но при избытке доступных форм в почве становится фитотоксичным элементом. Обобщенные данные показывают, что содержание Cu в растениях из незагрязненных регионов колеблется от 1 до $n \cdot 10$ мг/кг абсолютно сухой массы, причем снижение концентраций ниже 2 мг/кг неблагоприятно для большинства растений. Исходя из данных мониторинговых наблюдений последнего срока, содержание соединений меди в растительности СКФМ варьирует в

диапазоне 0,4-24,6 мг/кг, что соответствует фоновым характеристикам обеспеченности дикорастущих видов растительности данным микроэлементом. Величины КН-Cu, по-видимому, в большей степени определяются долей подвижных форм микроэлемента в почвах, чем видовой спецификой растений; наибольшие величины показателя отмечаются для растительности Воронежского и Волжско-Камского БЗ (рис. 2.1.3-В).

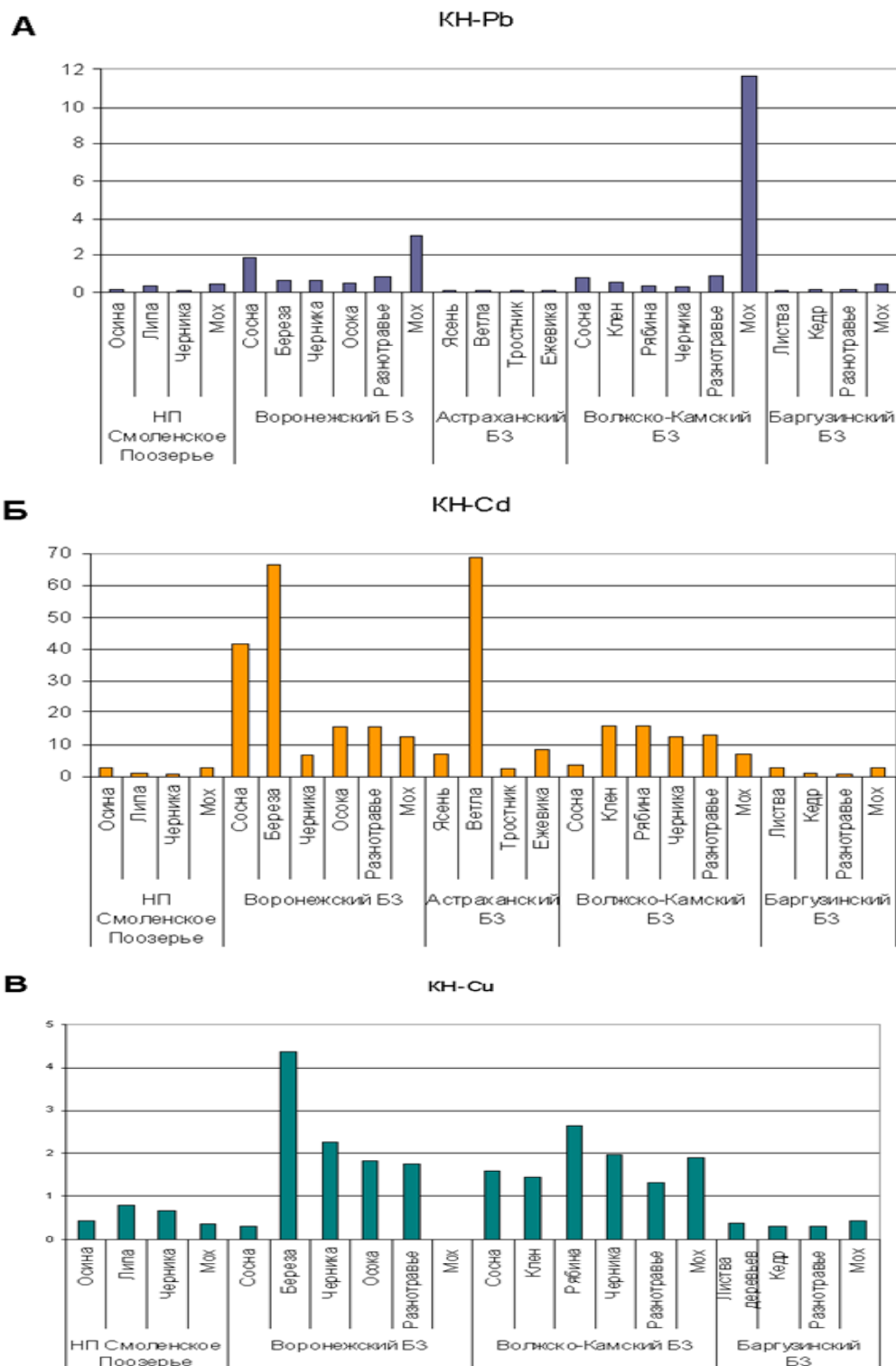


Рис. 2.1.3. Коэффициенты накопления свинца (А), кадмия (Б) и меди (В) в растениях СКФМ

В целом, согласно результатам последнего обследования, для отдельных показателей фоновое загрязнение компонентов растительного покрова СКФМ тяжелыми металлами максимальные уровни содержания соединений свинца (37,0 мг/кг) отмечаются в моховом покрове Волжско-Камского БЗ; кадмия (29,7 мг/кг) в листьях ветлы Астраханского БЗ; меди (24,6 мг/кг) в разнотравье Кавказского БЗ.

Концентрации загрязняющих веществ органической природы в растительности СКФМ в целом невысоки. Содержание бенз(а)пирена в зеленых частях растений СКФМ отражает региональный уровень рассеяния поллютанта в атмосфере и незначительно зависит от жизненной формы растения и/или его видовой принадлежности. Согласно последним наблюдениям, относительно повышенные концентрации бенз(а)пирена отмечаются в растительности Приокско-Террасного БЗ и Кавказского БЗ, наименьшие значения контролируемого показателя характерны для НП Смоленское Поозерье (табл. 2.1.4).

Анализ содержания в растительности хлорорганических пестицидов выявил стабильно низкие концентрации γ -ГХГЦ, но спорадически высокие значения ДДТ и его метаболитов, отмечаемые как в листьях деревьев, так и в зеленых органах напочвенного покрова, включая моховый ярус. Поскольку применение хлорсодержащих органических инсектицидов групп ДДТ и ГХГЦ для борьбы с насекомыми было в основном прекращено после 1990-х гг., то повышение их остаточных количеств в растительности фоновых территорий может определяться спецификой биоклиматических особенностей вегетации в годы наблюдений, и пространственной неоднородностью распределения поллютантов в растительном покрове.

В целом, согласно результатам последнего опробования, максимальные 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.

Таблица 2.1.4. Средние концентрации органических загрязняющих веществ (мкг/кг абсолютно сухой массы) в растительности СКФМ в 2015-2019 гг. и диапазоны значений за период 2009-2019 гг.

Станция КФМ	Проба	Бенз(а)пирен, мкг/кг		сумма-ДДТ, мкг/кг		γ-ГХГЦ, мкг/кг	
		Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.	Диапазон за декаду	2015 г. / 2019 г.
Центральный федеральный округ							
НП Смоленское Поозерье	Осина, листва	0,03-1,10	0,03	≤0,5-21,0	1,1	≤0,05-2,0	≤0,05
	Липа, листва		0,03		-		-
	Черника		0,13		11,0		1,0
	Мох		0,14		7,1		1,7
Приокско-Террасный БЗ	Береза, листва	0,05-0,19	0,36	0,5-58,7	3,7	≤0,05-3,2	1,7
	Разнотравье	0,16-0,58	0,58	0,5-54,4	54,4	≤0,05-3,8	2,4
Воронежский БЗ	Хвоя сосны	0,40	0,40	2,0-37,3	37,3	0,05-2,4	2,4
Южный федеральный округ							
Астраханский БЗ	Ясень, листва	0,12-0,30	0,20	0,77-78,7	118,3	0,3-2,6 нпо-0,3 нпо-4,5	0,7
	Ветла, листва	0,18-0,37	0,18	≤0,2-18,0	4,4		0,5
	Тростник	0,12-0,27	0,37	≤0,5-28,2	18,0		нпо
	Ежевика		0,19		28,2		нпо
Кавказский БЗ	Разнотравье	0,15-0,54	0,54	≤0,5-44,2	24,8	≤0,05-4,2	0,3
Приволжский федеральный округ							
Волжско-Камский БЗ	Сосна, хвоя	0,21-0,28	0,25	1,0-23,0	12,0	2,7-5,4	4,0
	Разнотравье	0,07	0,07	3,0	3,0	2,0	2,0
	Мох	0,07-0,14	0,10	46,0-220,0	122,0	0,5-5,0	2,5
Сибирский федеральный округ							
Баргузинский БЗ	Листва деревьев	0,02-0,60	0,25	3,4	3,4	1,5	1,5
	Хвоя кедра	0,24-0,60	0,35	13,0	13,0	3,4	3,4
	Мох	0,24-0,60	0,33	-	-	-	-

2.2. Содержание загрязняющих веществ в почвах 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. Согласно п. 2.5 СанПиН 2.1.7.1287-03, в качестве фоновых значений концентраций химических веществ следует использовать региональные показатели почв. Фоновая площадка для вещества в почвах изучаемого города - 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 которых определяются массовые доли тяжелых металлов (ТМ), нефти и нефтепродуктов (НП), фтора, нитратов, сульфатов, бенз(а)пирена (БП) и др.

В 2019 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 (Республик: Башкортостан, Татарстан, Удмуртской; Кировской, Нижегородской, Оренбургской и Самарской областей).

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

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

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Нитраты	Фтор
Сибирский федеральный округ				
Западная Сибирь Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995-2019	2,0-36,5	0,2 -3,5
Кемерово, д. Калинкино ЮЮЗ 55 км от ГРЭС	Серая лесная	1995-2019	6,2-87,5	0,4-3,5
г. Новокузнецк, пос. Сарбала ЮЮВ 32 км от ГРЭС	Подзолистые	1995-2019	3,8-24,6	0,2-9,5
г. Томск, с. Ярское Ю 43 км от ГРЭС-2		2001-2019	1,5-49,0	0,3-3,8
Приволжский федеральный округ				
Самарская область Волжский район Национальный парк «Самарская Лука» 3 30 км от г. Самара	Чернозёмы	2006-2019	1-47	0,2-3,3
Волжский район АГМС п. Аглос ЮЗ 20 км от г. Самара		2006-2019	3-36	0,8-4,1
Уральский федеральный округ				
Свердловская область п. Мариинск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Подзолистые	1999-2019	0,2-13,2	-

Данные, представленные в табл. 2.2.1 демонстрируют значительные колебания измеренного содержания в почвах нитратов и фтора за рассматриваемый период. В целом, несмотря на варьирование содержания вышеуказанных химических веществ, превышения допустимых гигиеническими нормативами значений не было выявлено.

В 2019 г. продолжились наблюдения за выпадениями фтора на снежный покров Братского района Иркутской области. Плотность выпадений соединений фтора на фоновой площадке в районе г. Братска увеличилась в 1,8 раза по сравнению с 2018 г. (5,2 кг/км²/мес) и составила 9,5 кг/км²/мес. По данным наблюдений 2015-2019 гг. плотность атмосферных выпадений фторидов на фоновой площадке п. Листвянка Иркутской области варьировала в диапазоне 0,46-2,41 кг/км²/мес.

Результаты многолетних наблюдений за фоновыми валовыми и/или кислоторастворимыми (сравнимыми с валовыми) формами массовых долей кобальта, марганца, никеля, ртути в почвах отдельных регионов РФ приведены в табл. 2.2.2.

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

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Co	Mn	Ni	Hg
Центральный федеральный округ						
Московская область Ступинский район	Дерново-подзолистые	2019	2,0	385	11	-
Сибирский федеральный округ						
Иркутская область г. Ангарск	Серые лесные	2002, 2010, 2019	7-21	173-607	3-45	0,01 (2019)
г. Усолье-Сибирское	Серые лесные	1989, 2002, 2010, 2019	9,8-19	123-991	4,6-99	0,03-0,05
Дальневосточный федеральный округ						
Приморский край пгт. Славянка ЮЗ 34 км	Бурые лесные	2010, 2019	7,5 (2010)	570-829	13-13,8	0,035 (2019)
Уральский федеральный округ						
Свердловская область & п. Маринск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	1999-2019	4-44	77-3110	1,5-181	0,01-0,20
г. Первоуральск СЗ 47 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2014, 2019	13-43	660-1772	33-64	0,08 (2010)
г. Асбест З 79 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2014, 2019	13-15	849-1598	151-181	0,03 (2010)
г. Ревда Ю 60 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2019	25	1269	31	0,03
Приволжский федеральный округ						
Оренбургская область г. Медногорск	Дерново-подзолистые	1987, 2009, 2019	27 (1987)	182-390	33-50	0,02 (2019)
Нижегородская область г. Дзержинск, территория городского округа г. Дзержинска		2013, 2018, 2019	1-8	77-278	10-14	0,02-0,04
Самарская область Национальный парк «Самарская Лука» З 30 км от г. Самара	Черноземы	2006-2019	-	43-515	11-87	-
АГМС п. Агрос ЮЗ 20 км от г. Самара			-	175-778	9-103	-
Удмуртская Республика В 20 км от г. Ижевск	Дерново-подзолистые	2006-2019	4-14	665-1450	21-64	0,02-0,05
Республика Татарстан г. Казань СЗ 20 км	Дерново-подзолистые	2008-2019	2-8	250-600	2-36	0,01-0,04
г. Нижнекамск г. Набережные Челны СВ, Национальный парк «Нижняя Кама»			3-9	223-390	12-29	0,01-0,05
Кировская область г. Кирово-Чепецк ЮЗ 20 км, ЮВ 30 км от АО «ОХК Уралхим» и ООО «ГалоПолимер»	Дерново-подзолистые	2008, 2018, 2019	7,8-11	513-1007	47-53	<0,02-0,03

Фоновые значения массовых долей кислоторастворимых форм никеля в подзолистых почвах для городов Новосибирск и Томск, исследованных в 2011-2019 гг., изменялись соответственно от 8,1 до 32,3 мг/кг и от 0,45 до 25 мг/кг. В почвах этих городов в 2019 г. фоновые значения содержания марганца составили соответственно 530 и 643 мг/кг.

Фоновые массовые доли кислоторастворимых (сравнимых с валовыми) форм кадмия, меди, свинца, цинка и НП в почвах отдельных фоновых районов Российской Федерации представлены в табл. 2.2.3.

Результаты наблюдений, проведенных с 1999 по 2019 гг. в районе п. Мариинск Свердловской области, показали, что в подзолистых почвах фоновые массовые доли подвижных форм хрома изменялись от 0,6 до 1,1 мг/кг (кислоторастворимых форм хрома - от 18 до 110 мг/кг), свинца - от 1,0 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.

На расстоянии 79 км в западном направлении и на расстоянии 60 км в южном направлении от г. Екатеринбурга содержание подвижных форм свинца в подзолистых почвах составило соответственно 3,5 и 25 мг/кг, хрома - 2,5 и 1,0 мг/кг, марганца - 210 и 52 мг/кг, никеля - 14 и 2,7 мг/кг, цинка - 13 и 12 мг/кг, меди - 1,2 и 12 мг/кг, кобальта - 0,8 и 0,4 мг/кг, кадмия - 0,8 и 0,2 мг/кг. В почве фонового участка в районе пгт. Славянка Приморского края содержание подвижных форм свинца составило 1,6 мг/кг, меди - 0,82 мг/кг, никеля - 0,12 мг/кг, цинка - 2,0 мг/кг, марганца - 16,8 мг/кг. В г. Дзержинск Нижегородской области значения массовых долей подвижных форм ТМ в почвах фонового участка не превысили: меди - 0,4 мг/кг, никеля - 1,2 мг/кг, свинца - 1,4 мг/кг, цинка - $\leq 2,1$ мг/кг, кадмия - 0,1 мг/кг. В почвах фоновой площадки в районе г. Ижевск Удмуртской Республики содержание меди составило 0,1 мг/кг, никеля - 1,0 мг/кг, свинца - 0,5 мг/кг, цинка - 2,8 мг/кг, кадмия - 0,1 мг/кг.

В 2019 г. содержание сульфатов в почвах фоновых площадок соответствовало: пгт. Славянка Приморского края 13,9 мг/кг; г. Медногорска Оренбургской области 35 мг/кг; НПП «Самарская Лука» и АГМС п. Аглос Самарской области 27,7 мг/кг и 37,8 мг/кг соответственно; в городах Ангарск и Усолье-Сибирское Иркутской области 72,9 мг/кг и 166,1 мг/кг соответственно.

В почвах фоновых участков г. Медногорска Оренбургской области и пгт. Славянка Приморского края значение концентрации БП соответствовало 0,018 мг/кг и 0,005 мг/кг соответственно. Также в почвах фонового участка г. Медногорска фиксировалась полихлорированные бифенилы (ПХБ) с концентрацией 0,004 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 встречаются редко. За многолетний период наблюдений превышение предельно допустимых и ориентировочно допустимых концентраций химических веществ в почвах наблюдается в единичных случаях.

Анализ значений фоновых массовых долей ТПП в почвах Российской Федерации позволяет оценить состояние почв фоновых площадок как благополучное.

Таблица 2.2.3. Массовые доли кадмия, меди, свинца, цинка и НП, мг/кг, в почвах фоновых районов Российской Федерации

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Cd	Cu	Pb	Zn	НП
Центральный федеральный округ							
Московская область Ступинский район	Дерново-подзолистые	2019	0,6	4,4	21	25,4	-
Сибирский федеральный округ							
Западная Сибирь г. Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995-2019	0,4-3,0	3-30	1,6-40	5-129	9-264
г. Кемерово д. Калинкино ЮЮЗ 55 км от ГРЭС	Серые лесные	1995-2019	0,2-6,3	4-41	5-31	18-169	6-110
г. Новокузнецк пос. Сарбала ЮЮВ 32 км от ГРЭС	Подзолистые	1995-2019	<0,1-1,3	<0,1-27	13,2-25	<0,1-133	105-510
г. Томск, с. Ярское Ю 43 км от ГРЭС-2	Подзолистые	2001-2019	<0,1-0,8	2-21,3	4,1-27	22-200	20-296
Иркутская область г. Ангарск	Серые лесные	2002, 2010, 2019	0,07-0,1	3,3-22	1,8-24	23,4-59	—
г. Усолье-Сибирское	Серые лесные	1989, 2002, 2010, 2019	0,06-0,1	8,3-27	7,1-20	23,2-71	—
Дальневосточный федеральный округ							
Приморский край пгт. Славянка ЮЗ 34 км	Бурые лесные	2010, 2019	0,1-0,3	13-14,2	15-28	59-83	—
Уральский федеральный округ							
Свердловская область п. Маринск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Подзолистые	1999-2019	0,5-2,2	13-368	7,0-137	44-201	—
г. Первоуральск СЗ 47 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2014, 2019	1,0-1,6	98-111	33-45	177-217	—
г. Асбест З 79 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2014, 2019	0,7-1,6	27-31	21-24	74-77	—
г. Ревда Ю 60 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2019	2,2	87	69	100	—
Приволжский федеральный округ							
Нижегородская область г. Дзержинск территория городского округа г. Дзержинска	Дерново-подзолистые	2013, 2018, 2019	0,5-4,0	5-13	9-11	20-32	32-98
Оренбургская область г. Медногорск	Дерново-подзолистые	1987, 2009, 2019	0,2-0,6	29-46	20-24	33-96	40-52,6
Самарская область Национальный парк «Самарская Лука» З 30 км от г. Самара	Черноземы	2006-2019	0,2-2,8	7-118	8-88	35-219	9-175
АГМС п. Аглюс ЮЗ 20 км от г. Самара			0,1-2,5	8-55	1-21	31-271	2,4-32,7
Удмуртская Республика В 20 км от г. Ижевск	Дерново-подзолистые	2006-2019	0,5-4,0	7-48	10-130	18-191	26-73
Республика Татарстан г. Казань СЗ 20 км	Дерново-подзолистые	2008-2019	0,1-0,5	1,2-11	3-18	9,3-180	2,3-96
г. Нижнекамск г. Набережные Челны СВ, Национальный парк «Нижняя Кама»		2008-2019	0,5-1,0	5-28	2,3-22	17-70	15,2-150
Кировская область г. Кирово-Чепецк СЗ 20 км, ЮВ 27 км от АО «ОХК Уралхим» и ООО «ГалоПолимер»	Дерново-подзолистые	2008, 2019	0,5-0,8	18-29	10-32	40-355	69-129
Республика Башкортостан г. Дюртюли ЮВ 15 км от автовокзала	Выщелоченные черноземы	2008, 2019	0,2-0,6	22-29	10-18	54-67	—
г. Янаул Ю 24 км от ж/д станции	Типичные черноземы	2006, 2013, 2019	0,03-0,1	16-27	13-19	50-210	—

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

3.1. Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети КФМ

Тяжелые металлы

В 2019 г. фоновое содержание ртути, свинца, кадмия в поверхностных водах большинства фоновых районов России соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние годы, и составило для ртути 0,11–1,36 мкг/л, свинца 0,39–2,46 мкг/л, кадмия 0,04–0,09 мкг/л. На Азиатской территории России фоновые концентрации тяжелых металлов, как правило, ниже, чем на ЕТР (табл. 3.1.1).

Пестициды и ПАУ

В 2019 г. концентрации суммы изомеров ДДТ в поверхностных водах большинства фоновых территорий составили 51,3-154,7 нг/л, γ-ГХЦГ - от 2 до 69,4 нг/л (табл. 3.1.1).

По данным сети СКФМ в течение последних 10-лет сохраняется тенденция стабилизации фонового содержания тяжелых металлов, пестицидов, ПАУ в поверхностных водах. (табл. 3.1.1).

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	2019 г.	Диапазон	2019 г.	Диапазон	2019 г.
Кавказский БЗ	1982-2019	0,2-16,0	1,06	0,004-2,5	0,04	0,03-1,4	0,49
Приокско-Тerrasный БЗ	1987-2019	нпо-39,4	0,39	0,03-3,5	0,07	0,03-8,7	0,31
Баргузинский БЗ	1982-2008	0,2-7,4	1,7*	0,01-1,5	0,09*	0,01-9,7	1,03*
Астраханский БЗ	1988-2019	0,08-128	2,46	0,1-413		0,01-74	1,36
Воронежский БЗ	1990-2019	0,34-50	1,27	0,01-4,6	0,09	0,003-1,0	0,12
Яйлю	2002-2019	0,01-3,6	0,43	0,01-0,7	0,08	0,01-0,44	0,11
Смоленское поозерье	2009-2016	0,15-6,0	2,058*	0,03-0,67	0,054*	0,01-3,5	0,208*
Байкальский БЗ	2011-2014	0,45-0,8*	0,61*	0,21-0,46*	0,294*	0,036-89*	17,88*
Волжско-Камский БЗ	2012-2015	0,18-0,33	0,255*	0,036-0,21	0,123*	0,005-0,008*	0,007*
Центрально-лесной БЗ	1988-2011	0,2-66,6	0,8*	0,03-5,7	0,5*	0,03-0,5	0,2*

Заповедник	Период наблюдений	Бенз(а)пирен, нг/л		сумма-ДДТ, нг/л		γ-ГХЦГ, нг/л	
		Диапазон	2019 г.	Диапазон	2019 г.	Диапазон	2019 г.
Кавказский БЗ	1982-2018	0,05-8,9	1,26*	нпо-370	38,162	нпо-188,4	16,968
Приокско-Тerrasный БЗ	1987-2019	0,05-12,9	0,93*	нпо-215,2	67,8	нпо-129,3	2,0
Баргузинский БЗ	1982-2008	0,05-16,3	1,0*	1,6-112,5	17,57*	нпо-86,6	38,74*
Астраханский БЗ	1988-2019	нпо-11,7	1,26*	нпо-328	154,7	нпо-101,7	34,7
Воронежский БЗ	1990-2019	0,05-5,6	0,94*	нпо-14830	51,3	нпо-151,6	69,4
Яйлю	2002-2018	0,2-3,6	0,926	нпо-311,24	85,08	нпо-258,8	13,29
Смоленское поозерье	2009-2016	0,16-0,88	0,49*	нпо-288	60,43*	нпо-29,1	9*
Байкальский БЗ	2011-2014	0,05-1,64	1,06*	1,6-112,5	17,57*	нпо-86,6	38,74*
Волжско-Камский БЗ	2012-2015	нпо-0,5	0,45*	0,8-151,7	150,30*		нпо*
Центрально-лесной БЗ	1988-2011	0,05-22,0	1,3*			нпо-15	нпо*

нпо - ниже предела обнаружения

* - последнее измерение

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

Бассейн Азовского моря.

На протяжении многолетнего периода качество воды р. Ворона в черте г. Уварово характеризовалось как «слабо загрязнённая», в отдельные годы «условно чистая», в 2018 г. «загрязнённая». В 2019 г. качество воды улучшилось до уровня «слабо загрязнённая» в результате уменьшения количества загрязняющих веществ от 7 до 5 из 11, учтённых в комплексной оценке качества воды и повторяемости случаев превышения ПДК органическими веществами (по ХПК) от 100 до 29%, органическими веществами (по БПК5) от 14 до 0%. Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ не достигали, либо незначительно превышали ПДК (рис. 3.2.1). Максимальные концентрации аммонийного азота, соединений железа и нитритного азота регистрировались на уровне 1,5-3,5 ПДК.

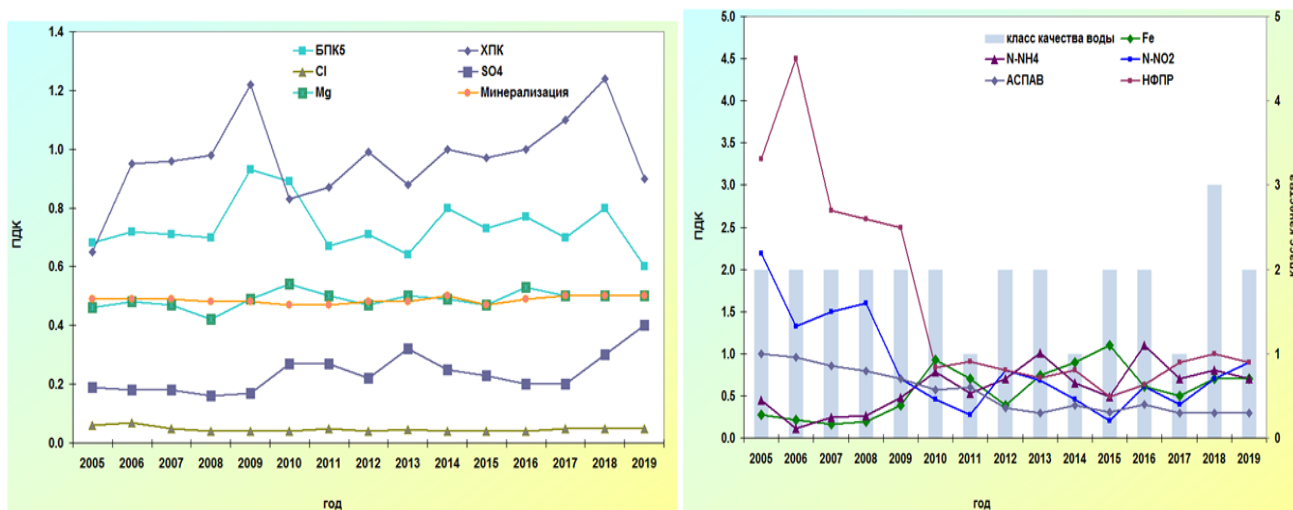


Рис. 3.2.1 Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качество воды р. Ворона в черте г. Уварово многолетнем плане

Качество воды р. Лесной Воронеж, выше г. Мичуринск в многолетнем плане характеризовалось как «слабо загрязнённая», в отдельные годы как «условно чистая». В 2019 г. уменьшилось количество загрязняющих веществ от 4 до 2 из 13, учтённых в комплексной оценке качества воды. В единичной пробе концентрация нитритного азота достигала 2 ПДК. Содержание органических веществ (по ХПК) незначительно превышало ПДК, остальных загрязняющих веществ ниже ПДК. В 2019 г. качество воды характеризовалось как «условно чистая» (в 2018 г. «слабо загрязнённая») (рис. 3.2.2).

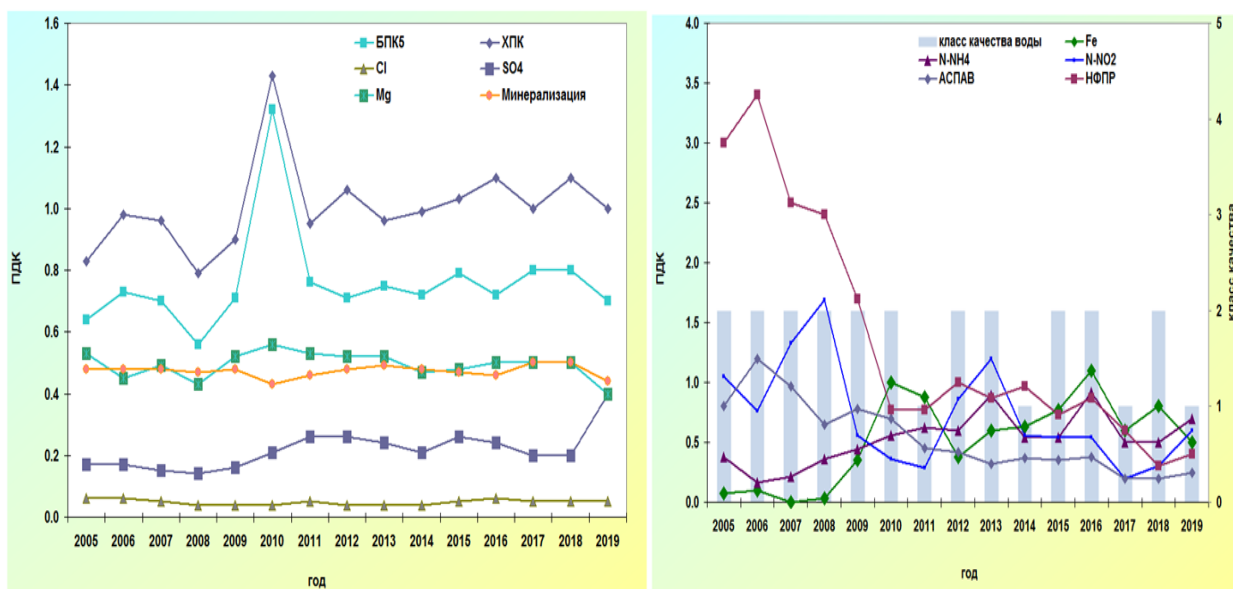


Рис. 3.2.2 Изменение концентраций отдельных ингредиентов и качество воды р. Лесной Воронеж, выше г. Мичуринск многолетнем плане

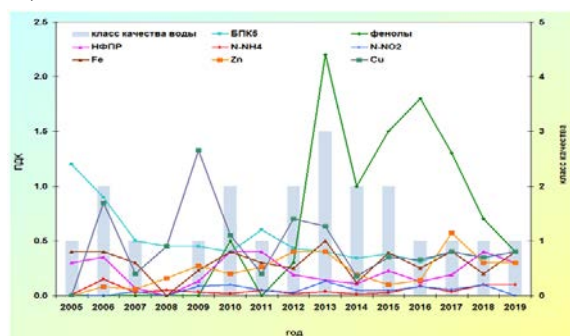
Бассейн Карского моря

Притоки озера Байкал. В 2019 г. гидрохимические наблюдения проводились на устьевых участках 10 рек, выбранных в качестве фоновых.

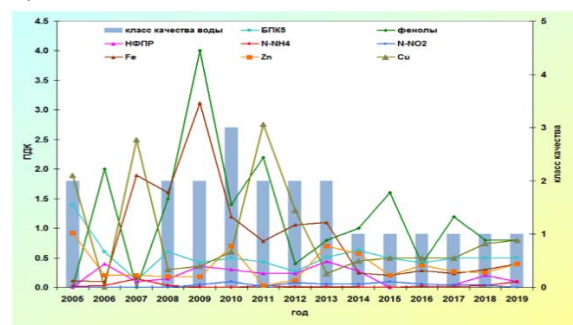
Вода рек Голоустная, Бугульдейка, Сарма, Мантуриха, Мысовка, Снежная, Выдриная, Хара-Мурин, Утулик в 2019 г. как и предыдущие годы, характеризовалась как «условно чистая». Качество воды р. Большая Сухая несколько улучшилось по сравнению с 2018 г. и характеризовалось, как и в остальных притоках озера «условно чистыми» водами (рис. 3.2.3). Наблюдалось незначительное превышение концентраций: фенолов в р. Мысовка 1,2 ПДК; соединений железа в р. Выдриная 1,9 ПДК.

Иркутское водохранилище. Вода Иркутского водохранилища в большинстве пунктов наблюдений в 2019 г., также как в многолетнем периоде, характеризуется как «условно чистая». Отмечается некоторое улучшение качества воды до «условно чистая» в верхнем створе водохранилища (ОГП-1 Исток Ангары) (рис. 3.2.4). По сравнению с прошлым годом максимальные концентрации загрязняющих веществ в воде створа регистрировались на уровне: фенолов 1,5 ПДК (в 2018 г. 3,8 ПДК); органических веществ (по ХПК) 2,3 ПДК (в 2018 г. 2,4 ПДК). Содержание остальных загрязняющих веществ и показателей качества воды не превышали ПДК.

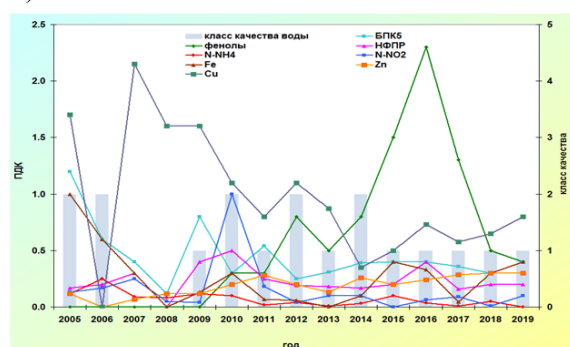
А)



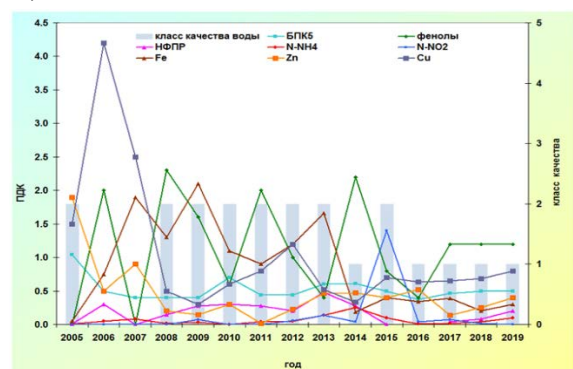
Г)



Б)



Д)



В)

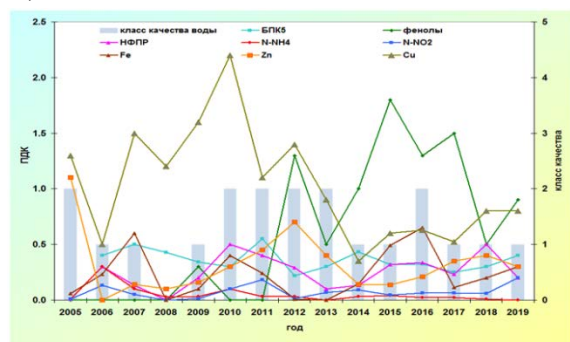


Рис. 3.2.3 Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды а) р. Голоустная, б) р. Бугульдейка, в) р. Сарма, г) р. Мантуриха, д) р. Мысовка за многолетний период

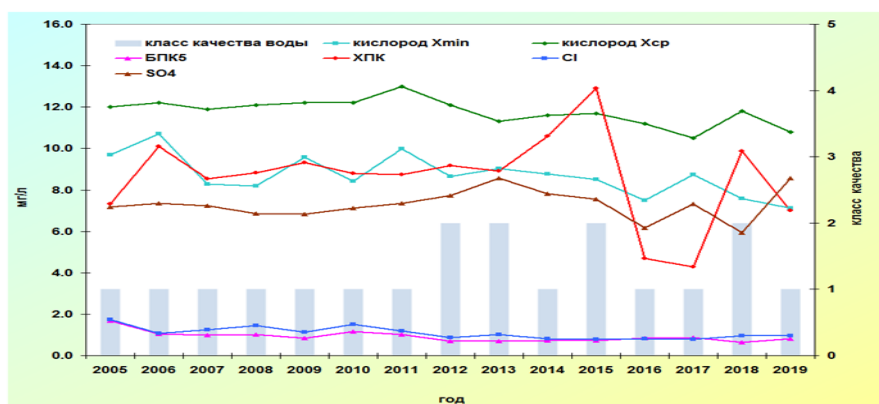


Рис. 3.2.4 Изменение класса качества и среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и показателей качества воды Иркутского водохранилища, ОГП-1 Исток Ангары в многолетнем плане

Бассейн Тихого океана

Реки о. Сахалин. В 2019 г. наблюдения проводились на р. Лютога, р. Чеховка, в черте г. Чехов, р. Углегорка, р. Очепуха, р. Рогатка, р. Правда.

Качество воды р. Лютога, 0,5 км выше п. Чапланово; р. Чеховка, г. Чехов; р. Углегорка, 1 км выше с. Краснополье; р. Очепуха в черте п. Лесное оценивалось как «слабо загрязненная» и характеризовалось незначительным превышением содержания органических веществ (по ХПК и БПК5), соединений меди, железа, марганца, что обусловлено влиянием природных факторов.

В воде р. Рогатка, левом притоке р. Красносельская, в створе 3,5 км выше г. Южно-Сахалинск, в 2019 г. в период высокой водности наблюдались разовые повышения концентраций соединений марганца, железа и меди, среднегодовые концентрации, которых составляли 3, 4 и 10 ПДК соответственно. Вода оценивалась как «загрязненная» (рис. 3.2.5).

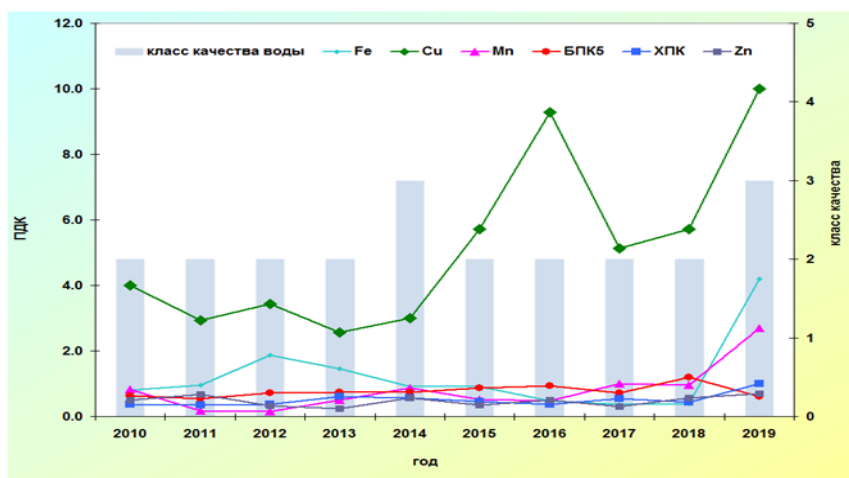


Рис. 3.2.5 Изменение класса качества и среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и показателей качества воды р. Рогатка в створе выше г. Южно-Сахалинск в многолетнем плане

В 2019 г. качество воды р. Правда, как и в предыдущие годы, характеризовалось как «загрязненная». В период высокой водности в фоновом створе 0,5 км выше п. Правда, фиксировались единичные случаи повышенного содержания в воде соединений меди, марганца, органических веществ (по БПК5 и ХПК) (рис. 3.2.6).

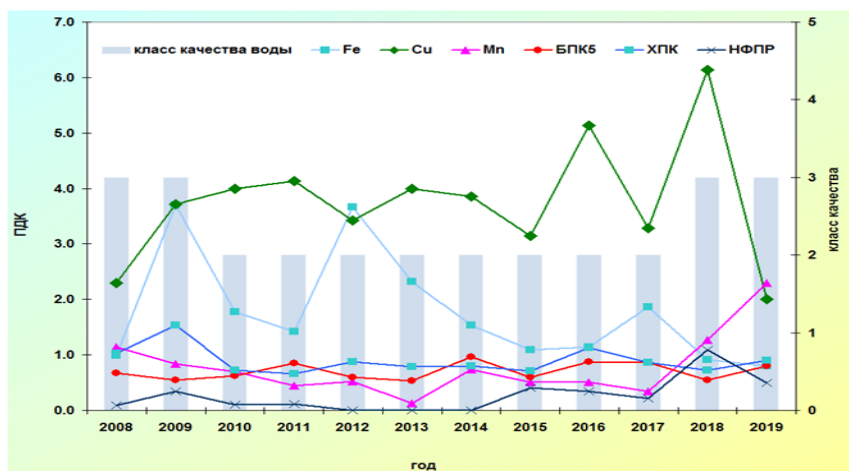


Рис. 3.2.6. Изменение класса качества и среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и показателей качества воды р. Правда в створе выше п. Правда в многолетнем плане

Полуостров Камчатка. В 2019 г. наблюдения проводились в фоновых створах р. Камчатка, 0,8 км к северу от с. Пушино, р. Берш, 2,5 км к западу от с. Пушино и р. Большая (Быстрая), 0,5 км выше с. Малки.

Река Камчатка в 2019 г., как и в предыдущие годы, характеризовалась как «слабо загрязненная». В воде наблюдались нефтепродукты в концентрациях до 4 ПДК, соединения меди - до 2 ПДК.

В 2019 г качество воды р. Берш, 2,5 км к ЮЗ от с. Пушино улучшилось и характеризовалось как «слабо загрязненная» (2016-2018 гг. «загрязненная») (рис 3.2.7).

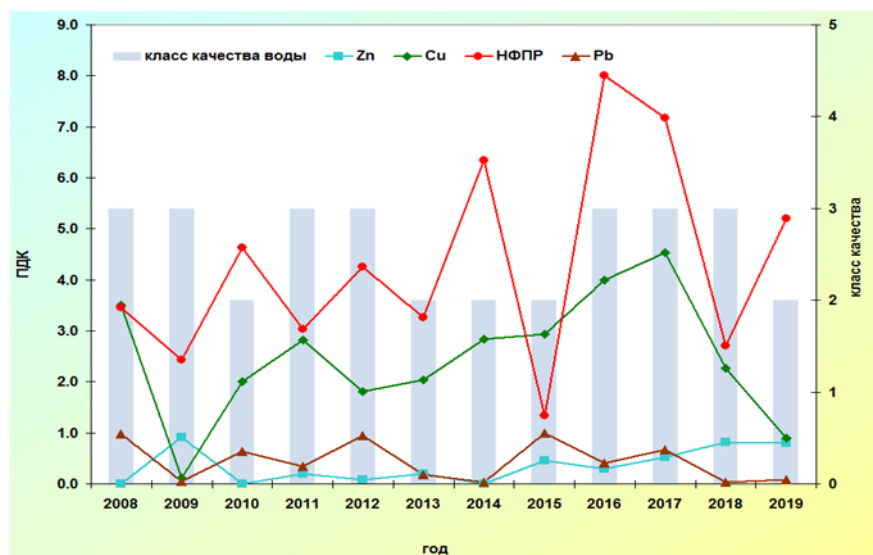


Рис. 3.2.7 Изменение класса качества и среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и показателей качества воды р. Берш в пункте с. Пушино в многолетнем плане

В 2019 г. в воде р. Берш уменьшилась концентрация соединений меди до 2 ПДК, отмечалось увеличение содержания нефтепродуктов до 5 ПДК. Среднегодовое содержание взвешенных веществ в воде р. Берш не превышало 18,9 мг/л. Остальные загрязняющие вещества не превышали ПДК.

Река Большая (Быстрая) в фоновом створе 0,5 км выше с. Малки отличалась в 2019 г. существенным снижением содержания в речной воде фенолов, среднегодовая концентрация которых уменьшилась до 2 ПДК, максимальная, как и в предыдущем году, достигала 5 ПДК. По сравнению с предыдущим годом в 2 раза снизились среднегодовые значения концентрации нефтепродуктов, а максимальные не превышали 3 ПДК. Снизилась до 43% повторяемость случаев превышения ПДК соединениями меди, концентрации которых в воде р. Большая (Быстрая) в с. Малки не превышали 2 ПДК. Загрязненность воды другими загрязняющими веществами уменьшилась, вода р. Большая (Быстрая) характеризовалась как «слабо загрязненная».

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

В районах расположения российских станций международной 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 исследовательских проектов 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 и 2-м Периодическом отчете о состоянии кислотных выпадений в Восточной Азии (2011, <https://www.eanet.asia/resources/publications/>).

В 2019 году в воде реки Комаровка продолжалось наблюдаться повышенное содержание кислотообразующих соединений по сравнению со средними многолетними значениями. Содержание макроионов не превысило пределы многолетних колебаний. Для реки Переемная существенных отличий уровня содержания этих 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 2007-2019 гг.

Вещество (измеряемое соединение)	р. Комаровка (Приморье)			р. Переемная (бассейн оз. Байкал)		
	Среднее		Диапазон измерений (2007-2019)	Среднее		Диапазон измерений (2007-2019)
	многолетнее	2019 г		многолетнее	2019 г	
рН	6,99	6,69	6,35 - 7,45	6,75	6,73	6,41 - 7,21
SO_4^{2-} , мг/л	11,89	12,96	3,57 - 16,27	11,05	11,74	6,37 - 15,44
NO_3^- , мг/л	1,92	2,45	0,10 - 6,15	0,73	0,69	0,18 - 1,30
NH_4^+ , мг/л	0,18	0,11	0,01 - 1,03	0,03	0,01	нпо - 0,25
Ca^{2+} , мг/л	8,48	8,34	5,20 - 11,47	4,76	4,88	2,97 - 6,32
Mg^{2+} , мг/л	2,17	1,42	0,60 - 3,30	0,88	0,95	0,50 - 1,34
NO_2^- , мг/л	0,03	0,01	нпо - 0,12	0,002	0,001	нпо - 0,01

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

Кислотность поверхностных вод

За весь период наблюдений среднегодовые значения величины рН воды в р. Переемной изменялись от 6,5 до 6,9, при среднем многолетнем 6,75 и вариациях измерений от 6,4 до 7,2 ед. рН. В сезонном ходе наиболее высокие значения наблюдаются летом: среднее за многолетний период равно 7,0. Среднее значение рН для зимы около 6,7, наиболее низкие значения наблюдались весной.

В Приморье в водах р. Комаровка в 2019 году наблюдается уменьшение уровня кислотности, значения колебались от 6,4 до 7,0 ед. рН. Среднее за год составило 6,7, это минимальное значение за весь период 2007-2019 гг. Абсолютное минимальное измеренное значение составило 6,35 ед. рН для реки Комаровка в зимний период 2019 года.

Для р. Комаровки не наблюдается значительных различий величины рН между сезонами и выраженного многолетнего внутригодового хода значений. Тем не менее, как правило, для весны характерно некоторое снижение уровня показателя кислотности и его рост к осени.

По результатам наблюдений за 2007-2019 гг. продолжается отмеченная ранее тенденция сохранения в среднем примерно одинакового уровня и вариации значений кислотности для р. Переменная (рис.3.3.1). Для р. Комаровка наблюдается понижение уровня рН. Для надежного определения количественных характеристик долговременных изменений кислотности продолжается накопление длительных рядов измерений, а также поиск методов специализированных детальных расчетов.

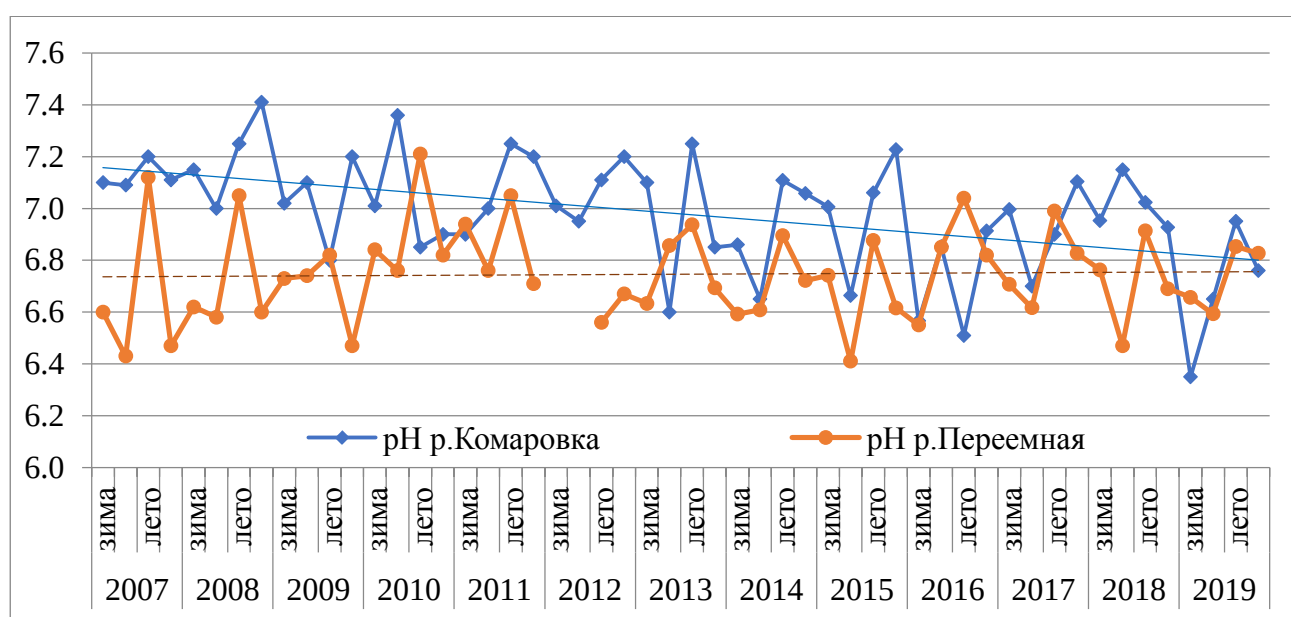


Рис.3.3.1 Тенденции изменения рН в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал.

Содержание сульфатов

В 2019 году среднегодовое содержание сульфатов в воде р. Комаровка составило 13 мг/л, при этом в течение года значения изменялись от 11,0 до 14,9 мг/л. Для р. Переменная среднегодовая концентрация составила 11,7 мг/л (Таблица 3.3.1), интервал изменений также оставался на уровне характерных значений - от 8,3 до 13,7 мг/л.

В годовом ходе концентраций для р. Комаровка отсутствуют повторяющиеся ежегодно сезоны с минимальным значением, тогда как для р. Переменной можно отметить выраженное уменьшение концентраций в весенние месяцы. За весь период 2007-2019 гг. абсолютные минимальные измеренные значения составили 3,57 для реки Комаровка (в летний период 2010 года) и 6,37 мг/л для реки Переменная (в весенний период 2011 года). Абсолютные максимальные измеренные значения составили 16,27 для реки Комаровка (в весенний период 2016 года) и 15,44 мг/л для реки Переменная (в весенний период 2010 года) (рис. 3.3.2).

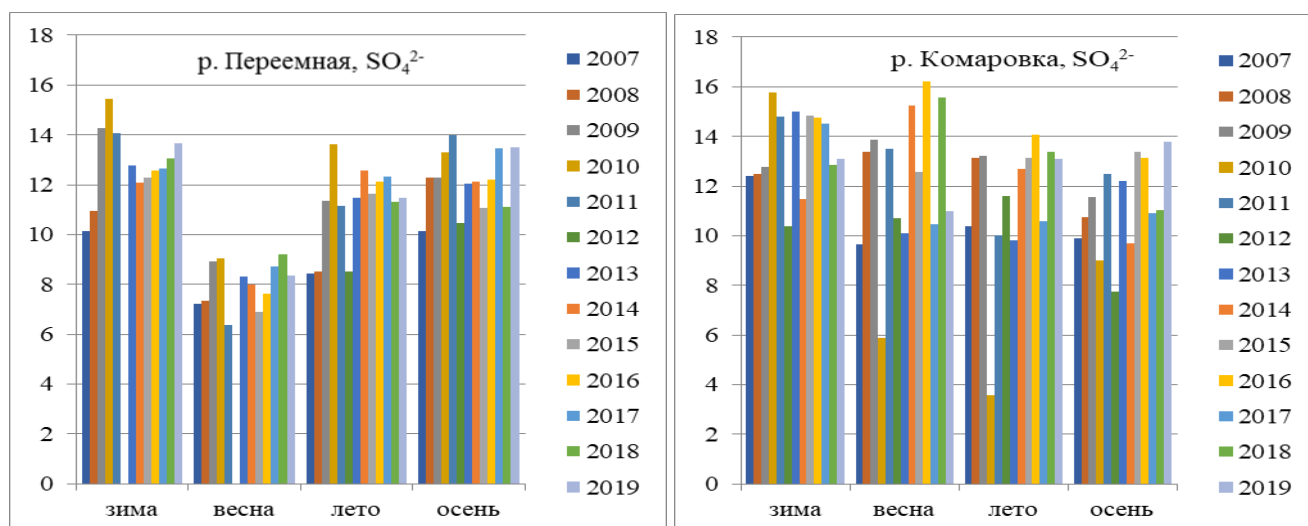


Рис.3.3.2 Сезонные изменения концентраций сульфатов (мг/л) в водах р. Переменная (слева) и р. Комаровка (справа) в 2007-2019 гг.

Содержание нитратов

В 2019 году среднегодовое содержание нитратов для р. Комаровка снизилось по сравнению с прошлым годом в полтора раза и составило 2,45 мг/л, что все еще выше уровня средне-многолетних значений. Для р. Переменная значительных изменений не отмечено. В целом, интервал изменений измеренного содержания нитратов в р. Комаровка составляет от 0,10 мг/л до 6,15 мг/л, что значительно больше, чем для р. Переменная (от 0,18 до 1,30 мг/л), а средние многолетние значения составляют 1,92 и 0,73 мг/л, соответственно. В годовом ходе для р. Переменная явно прослеживается закономерность снижения концентрации в летне-осенний период; для р. Комаровка отсутствуют четкие закономерности, тем не менее, в некоторые годы прослеживается снижение содержания нитратов в летний и осенний сезоны (Рис. 3.3.3).

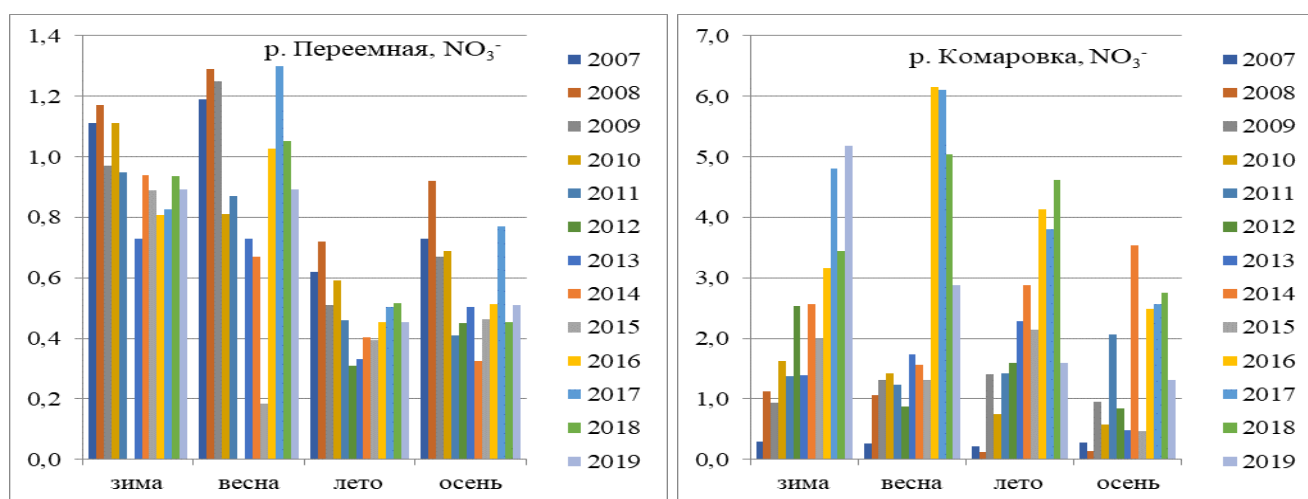


Рис.3.3.3 Внутригодовые изменения концентраций нитратов (мг/л) в р. Переменная (слева) и р. Комаровка (справа) в 2007-2019 гг.

По результатам измерений в 2007-2019 гг. для р. Переменная отмечается тенденция снижения содержания нитратов. Для р. Комаровки наблюдается повышение содержания нитратов в воде, однако статистически обоснованная зависимость пролеживается слабо (рис.3.3.4).

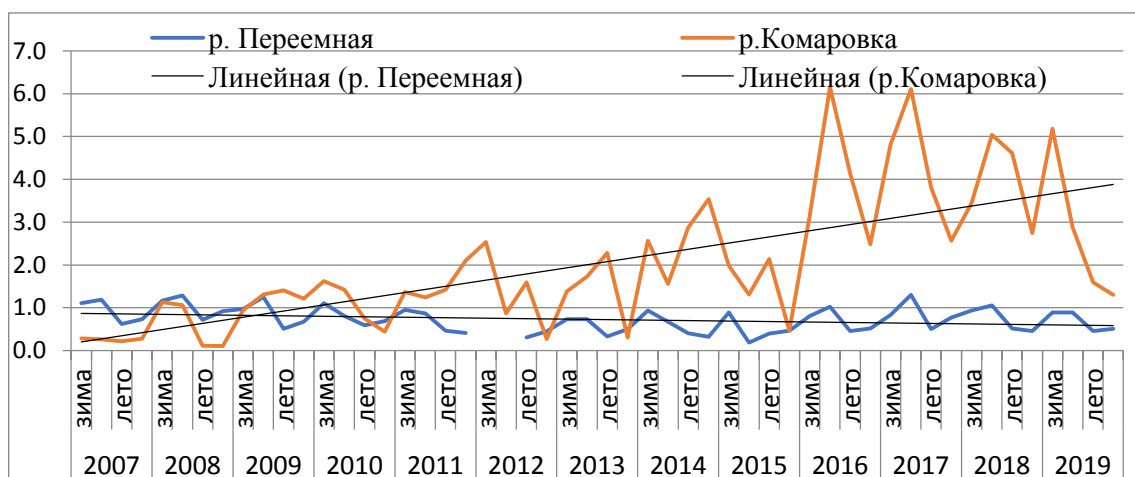


Рис.3.3.4 Тенденции изменения концентраций нитратов (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал (р. Переемная).

Основные катионы

Среднее содержание ионов кальция, являющегося преобладающим из катионов, для р. Комаровка в 2019 году составило 8,34 мг/л, при среднем многолетнем 8,48 мг/л. Содержание магния значительно уменьшилось, составив 1,42 мг/л. Для р. Переемная, содержание кальция и магния незначительно превысило пределы многолетних колебаний. В целом, уровни концентраций ионов кальция и магния в воде р. Комаровка значительно выше, чем в р. Переемная.

Среднегодовое содержание ионов кальция в воде р. Комаровка в 2019 году было несколько ниже, чем в предыдущие годы наблюдений, из-за более низких концентраций в весенний и летний периоды (Рис. 3.3.5). В летний период 2019 года были зафиксированы абсолютные минимальные измеренные значения для реки Комаровка за весь период 2007-2019 гг., которые составили 5,2 мг/л. Среднегодовое содержание кальция в воде р. Переемная в 2019 г. было характерным для последних лет и составило 4,88 мг/л при колебаниях концентраций в течение года от 3,8 мг/л до 5,7 мг/л.

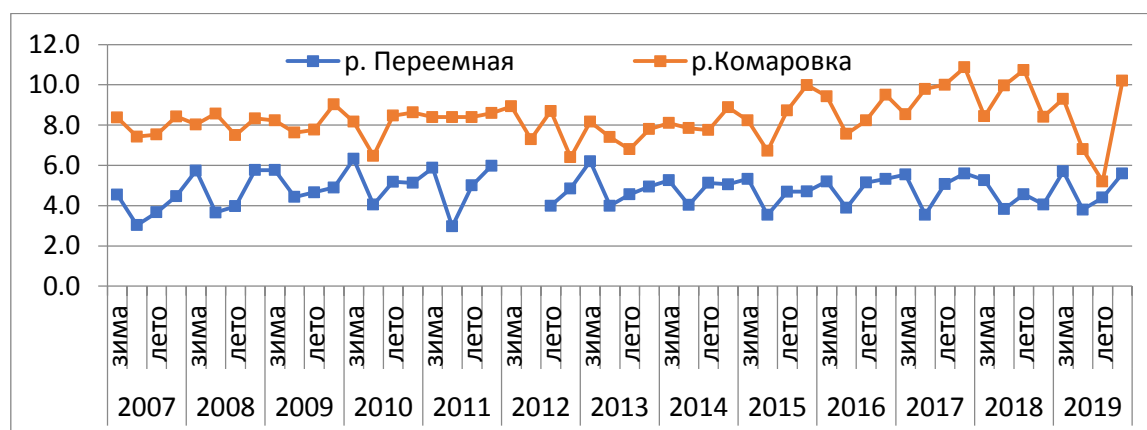


Рис.3.3.5 Изменения концентраций кальция (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

Содержание ионов магния в водах р. Комаровки в 2019 году значительно уменьшилось и составило 1,42 мг/л, при внутригодовых колебаниях концентраций от 0,6 мг/л до 2,4 мг/л. Среднегодовое содержание ионов магния в воде р. Переемная было характерным для уровней последних лет и составило 0,95 мг/л, что немного выше среднего многолетнего 0,88 мг/л, при минимальном содержании 0,73 мг/л в весенний период (Рис. 3.3.6). В целом, содержание ионов магния в 2019 году существенно не отличалось от многолетних уровней для р. Переемная и значительно отличалось для р. Комаровка.

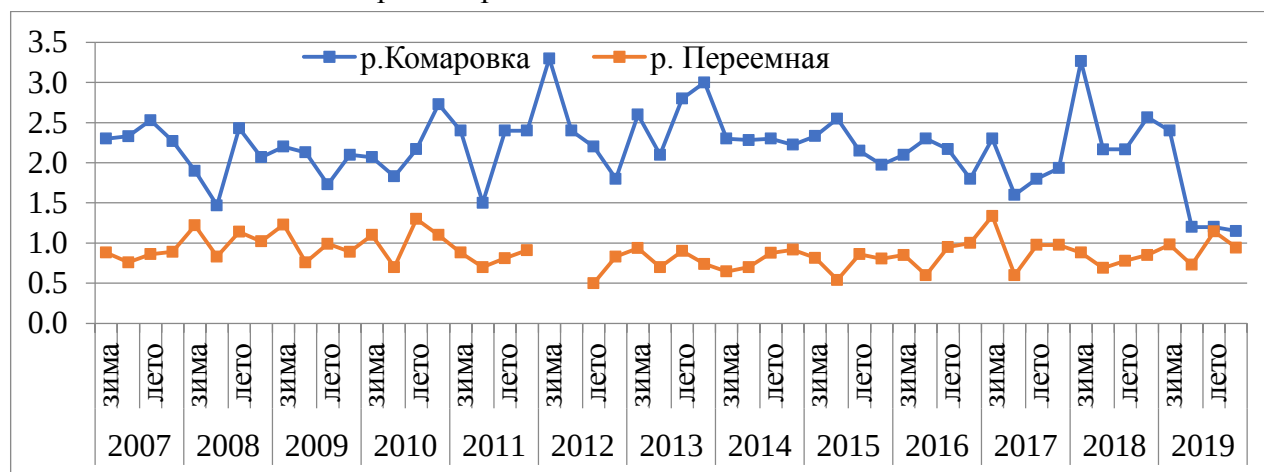


Рис.3.3.6 Изменения концентраций магния (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

Содержание аммония в водах р. Комаровка в 2019 году было ниже среднего многолетнего и в разные сезоны находилось практически на одном уровне (Рис. 3.3.7).

В водах р. Переемная среднегодовое значение концентраций NH_4^+ было ниже, чем за последние годы.



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

Соотношения основных анионов и катионов

При анализе совмещенных годовых ходов концентраций кальция и сульфатов можно отметить, что колебания содержания кальция в р. Комаровка (в Приморье) за 2019 год увеличились, в отличие от сульфатов. Содержание сульфатов в целом более высокое, чем кальция, данная тенденция не была нарушена в 2019 г. Как отмечалось и ранее, уровень концентраций нитратов в водах реки существенно ниже концентраций кальция и сульфатов.

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. и в июне 2019 г., а также уменьшения суммы анионов летом 2017 г.). Для р. Комаровка содержание кальция (в эквивалентных единицах) практически всегда примерно в полтора раза выше, чем общее содержание сульфатов и нитратов, что обеспечивает близкий к нейтральному рН поверхностных вод в малых реках Приморья (Рис. 3.3.8), хотя отмечающаяся тенденция роста кислотности воды указывает на снижение потенциала нейтрализации поверхностных вод. Так, например, в июне 2019 г. отмечалось, что сумма анионов впервые была выше, чем содержание кальция на фоне значительного снижения концентраций последнего в весенне-летний период (менее 0,3 мэкв/л).

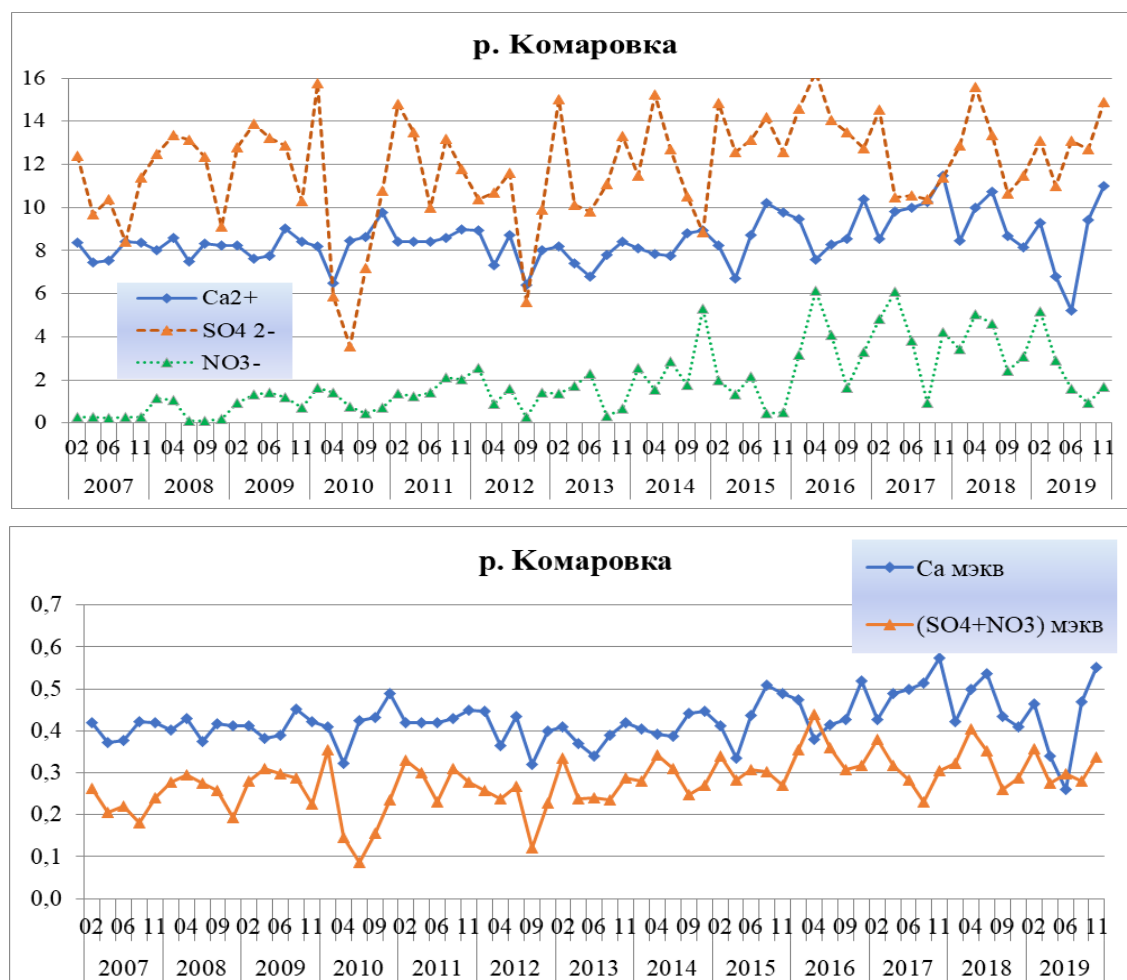


Рис.3.3.8 Тренды согласованного изменения сульфатов, нитратов и кальция (верхний, мг/л) и их эквивалентов (нижний, мэкв/л) в поверхностных водах на станции ЕАНЕТ Приморская в 2007-2019 гг.

Как и в предыдущие годы, в 2019 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 2019 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.

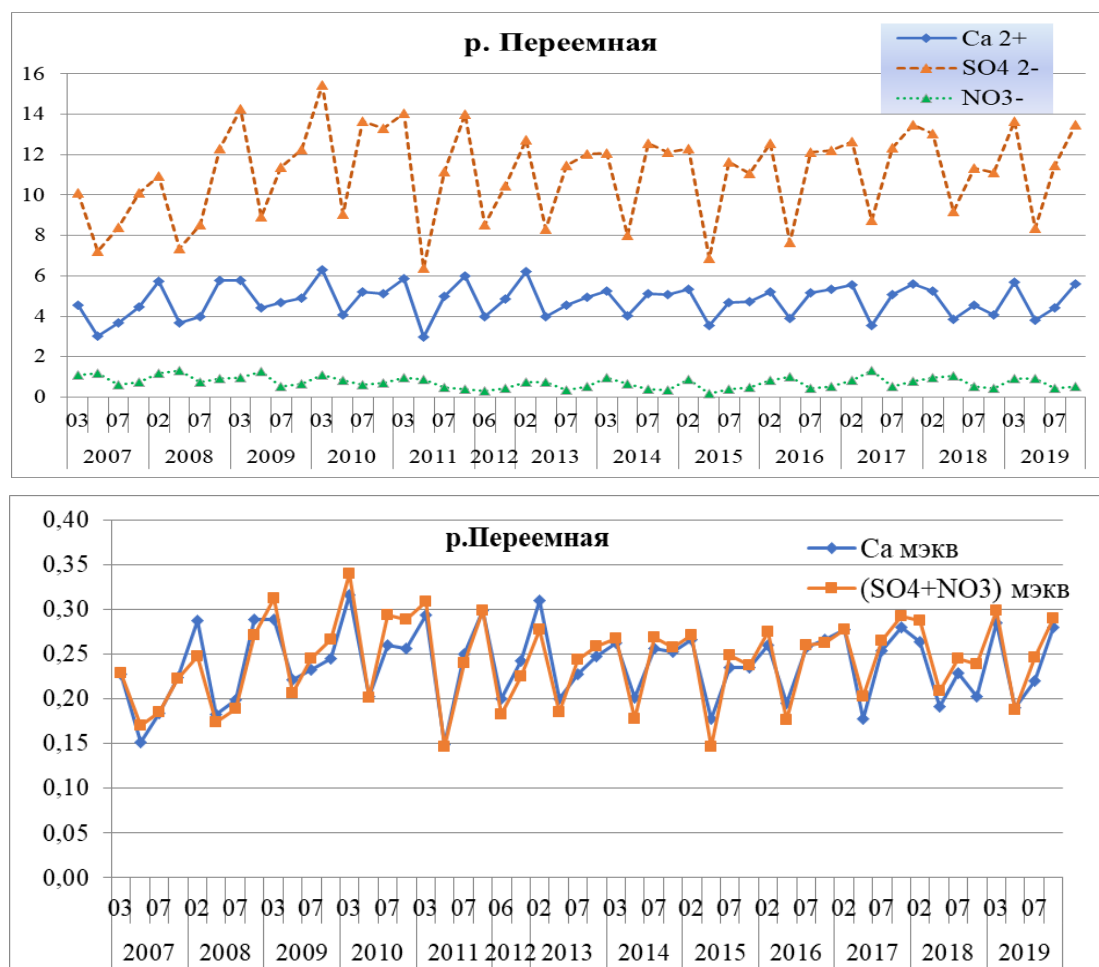


Рис.3.3.9 Тренды согласованного изменения сульфатов, нитратов и кальция (верхний, мг/л) и их эквивалентов (нижний, мэкв/л) в поверхностных водах р. Переемная в 2007-2019 гг.

В целом по результатам фоновых наблюдений за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети EANET, в последний год не наблюдалось увеличение содержания основных ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+}) и кислотности для р. Комаровка (Приморье). Для р. Переемная уровни основных ионов в течение последних 9 лет в целом сохраняются стабильными.

3.4. Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям

Выбор станций фонового гидробиологического мониторинга поверхностных вод суши произведен в соответствии с РД 52.24.309-2016 в районах, удаленных от локальных источников антропогенного воздействия, не подверженных влиянию промышленных и хозяйственных стоков. В 2019 году фоновые гидробиологические наблюдения осуществлялись на 14 водных объектах, которые соответствуют концепции фоновых участков, из них 8 участков расположены на территории 5 государственных природных, в том числе биосферных заповедников и их охраняемых зон (Большехецирский, Жигулевский, Лапландский, Приокско-Тerrasный, Усть-Ленский).

Баренцевский гидрографический район

Наблюдения в 2019 г. проводило Мурманское УГМС на фоновых участках 5 водных объектов: 4 рек и 1 озеро.

Бассейн реки Туломы: р. Лотта (п. Светлый, устье). Наблюдается снижение качественного состава фитопланктона фонового створа – 32 вида (в 2018 г. – 45 видов, в 2017 г. – 53, в 2016 г. – 33). Диатомовых водорослей встречено 11 видов (в 2018 г. – 19, в 2017 г. – 26), харовых – 7, зеленых – 6, золотистых – 5, синезеленых – 2, динофитовых – 1. Количественные параметры ниже прошлогодних: общая численность (ОЧ) водорослей лежала в диапазоне 0,43–0,89 тыс.кл./мл, а биомасса – 0,40–0,46 мг/дм³. Максимальное развитие фитопланктона отмечено в конце лета. По-прежнему в июне на фоне доминирующего диатомового комплекса более 30% всей численности составляли золотистые водоросли рода *Dinobryon*. Отмечено увеличение доли синезеленых: два вида цианобактерий в конце августа составляли более 68% общей численности. По параметрам развития фитопланктона оценка качества воды не изменилась.

В составе зоопланктона фонового створа встречено 20 видов (в 2018 г. – 18, в 2015 г. – 14), из них больше всего видов принадлежит коловраткам – 11 и ветвистоусым ракообразным – 8, веслоногих раков встречен один вид. Общая численность организмов изменялась от 0,29 до 1,37 тыс.экз./м³, а биомасса – от 14,02 до 34,11 мг/м³ (в 2018 году максимум не превышал 10,71 мг/м³). По-прежнему в составе сообщества доминировал ротаторно-кладоцерный комплекс. Группа коловраток определяла общую численность, широко распространенные индикаторы β-о-сапробной зоны *Kellicottia longispina* составляли 55% ОЧ. По биомассе доминировали кладоцеры, среди которых наибольшего развития достигали о-β-сапробные *Bosmina longirostris*. Вода «слабо загрязненная».

Зообентос реки насчитывал 18 видов (в 2018 г. – 7), относящихся к 4-м группам: 10 видов хирономид, 6 – олигохет и по одному виду жуков и моллюсков. Количественные показатели выше прошлогодних: общая численность лежала в диапазоне 1,55–2,83 тыс.экз./м², а биомасса – 1,83–2,06 г/м². Олигохеты составляли 21–56% ОЧ. Все обнаруженные виды-индикаторы – высоко эвтрофные показатели сапробности. Встречены олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* (ρ) и *Tubifex tubifex* (ρ); хирономиды *Polypedilum scalaenum* (β-α), *Paratendipes albimanus* (β-α), *Polypedilum sp.* (β-α) и *Stictochironomus rosenschoeldi* (α).

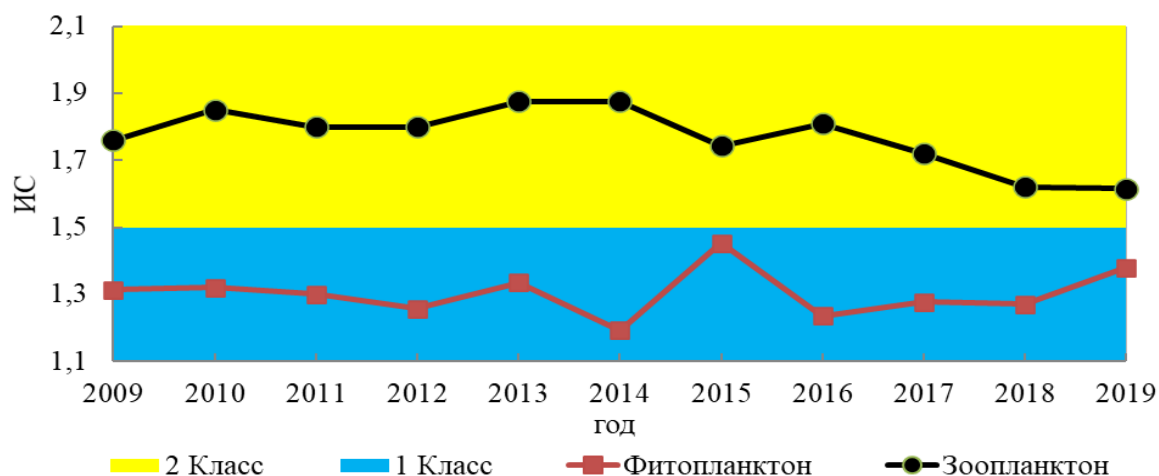


Рис. 3.4.1. Значение ИС в 2009-2019 гг., р. Лотта.

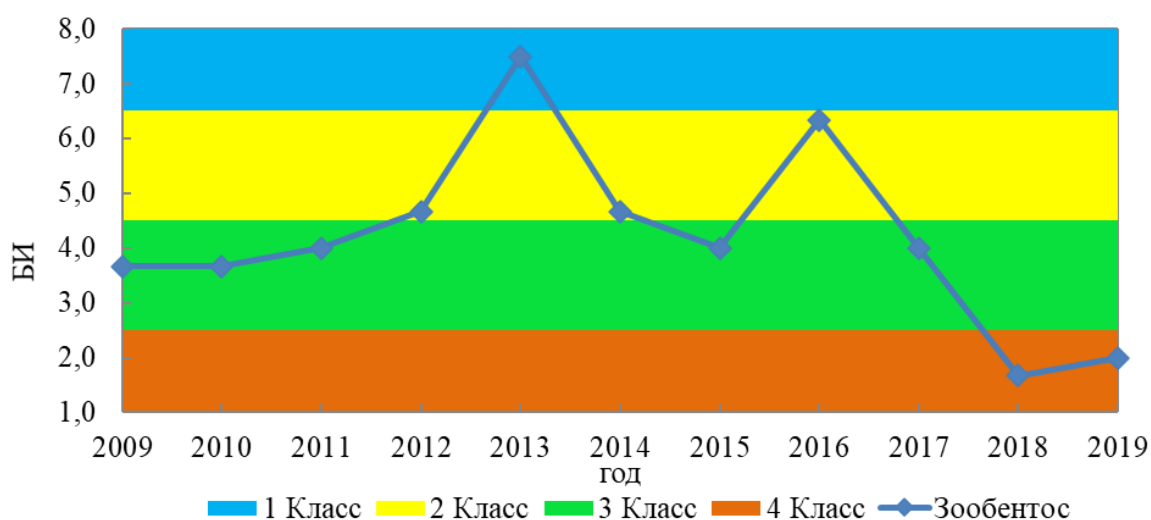


Рис. 3.4.2. Значение БИ в 2009-2019 гг., р. Лотта.

Значения ИС и БИ в 2009-2019 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.1, 3.4.2.

Бассейн реки Колы: р. Кица (ст. Лопарская, устье). В составе фитопланктона встречено 30 видов (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 – 11 видов и зеленые – 10, синезеленых встречено 5 видов, динофитовых – 4. Общая численность лежала в пределах 0,52-1,90 тыс.кл./мл, биомасса водорослей не превышала 0,64 мг/дм³. В июне преобладали эвтрофные диатомовые *Aulacoseira islandica Helvetica*, составляя 25% ОЧ. В августе доминировали эвтрофные синезеленые *Microcystis wesenbergii* – 53% ОЧ. Качество вод по показателям фитопланктона по сравнению с предыдущим годом незначительно ухудшилось.

В зоопланктоне встречено 18 видов, из них 8 – коловраток, 7 – ветвистоусых и 3 вида веслоногих ракообразных. Общая численность планктеров находилась в диапазоне 0,38-1,11 тыс.экз./м³, а биомасса – 8,56-88,62 мг/м³. Наибольшего развития зоопланктонное сообщество достигало в конце вегетационного периода. Доля олигосапробных кладоцер *Alona quadrangularis* составляла 31% ОЧ.

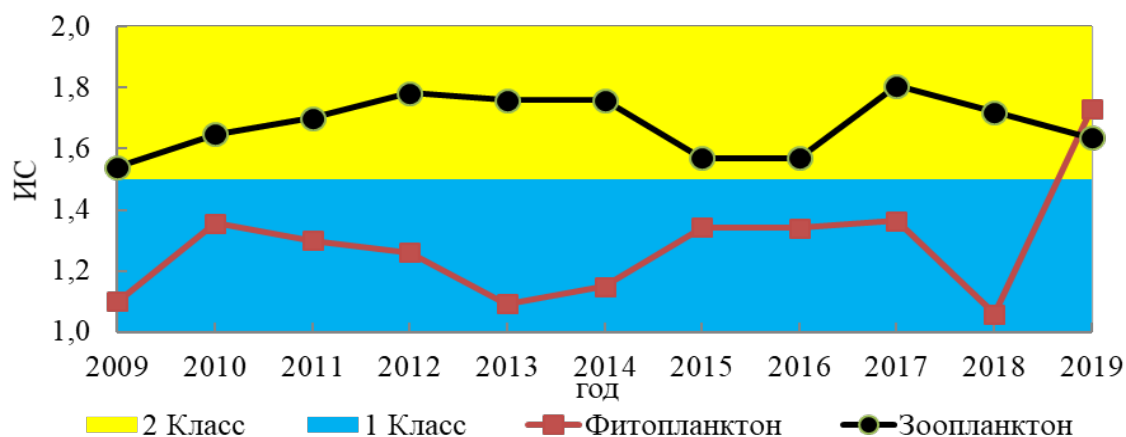


Рис. 3.4.3. Значение ИС в 2009-2019 гг., р. Куца.

Бентофауна реки отличалась разнообразием – встречено 11 видов (в 2018 г. – 3), среди них 5 представителей группы Chironomidae, 3 – Oligochaeta, по 1 виду Plecoptera, Trichoptera и Coleoptera. В июне полисапробные олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* достигали 76% от общего числа организмов. В августе доминировали личинки хирономид (*Rheocricotopus gouini*, *Arctopelopia* sp., *Tanytarsus medius*), также присутствовали индикаторные веснянки *Perla burmeisteriana* (о-β). Количественные показатели близки к прошлогодним значениям: общая численность находилась в пределах 0,85-1,56 тыс.экз./м², биомасса организмов не превышала 0,4 г/м².

Значения ИС и БИ в 2009-2019 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.3, 3.4.4.

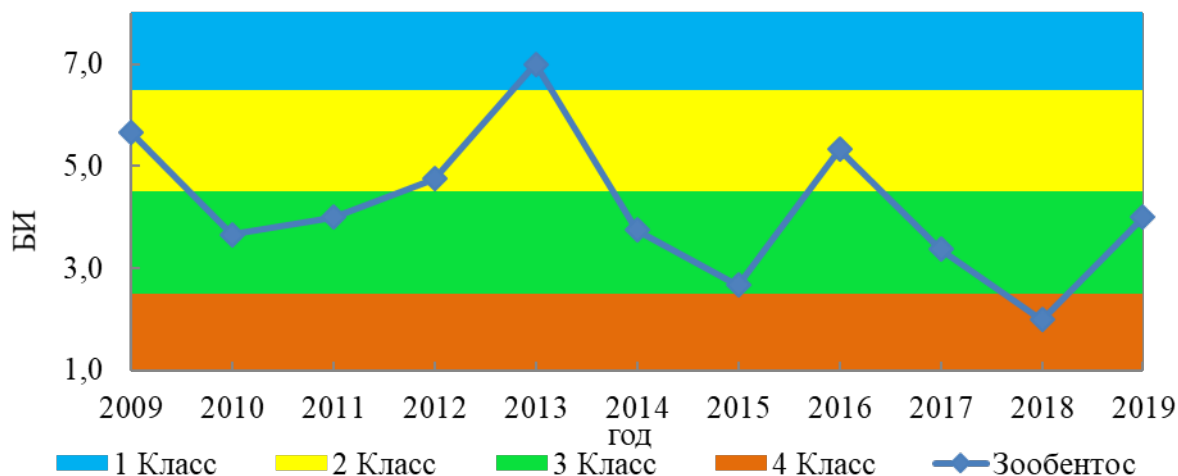


Рис. 3.4.4. Значение БИ в 2009-2019 гг., р. Куца.

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

Бассейн реки Нивы: р. Вите (устье). Гидробиологические наблюдения на реке проводили на створе с внешней стороны у границы Лапландского биосферного заповедника в июне и августе по показателям фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

В составе фитопланктона фонового створа встречено 32 вида (в 2018 г. – 63, в 2017 г. – 49, в 2016 г. – 40, в 2015 г. – 43, в 2014 г. – 49). Зеленых встречено 14, диатомовых – 8 (в 2018 году диатомовый комплекс включал 28 видов), золотистых – 5, динофитовых – 3, синезеленых – 2. Общая численность альгофлоры не превышала 1,11 тыс.кл./мл, а биомасса – 0,97 мг/дм³. Максимальные значения отмечены в июне. Качественное разнообразие – от 19 до 23 видов на пробу. По численности доминировали разнужгутиковые класса золотистые водоросли – олигосапробные виды *Dinobryon sertularia* и *Dinobryon stipitatum*, которые составили от 32 до 53% общей численности. Как и в прошлом году, в диатомовом комплексе преобладали *Aulacoseira distans* и виды рода *Tabellaria*. В августе доля цианобактерий не превышала 11%, харовые олигосапробные *Mougeotia div.sp.* составили 10% общей численности. Оценка качества воды по фитопланктону не изменилась.

В пробах зоопланктона встречено 19 видов (в 2018 г. – 24, в 2017 г. – 21), из них: 13 видов коловраток, 4 ветвистоусых и 2 веслоногих ракообразных. Общая численность организмов находилась в пределах 0,49-1,26 экз./м³ (в 2018 году максимальная ОЧ – 18,10 экз./м³), биомасса возрастала от 4,20 до 19,95 мг/м³ (в 2018 году биомасса достигала 70,34 мг/м³). Максимальные значения отмечены в августе. В конце лета 29% ОЧ составили β-о-сапробные коловратки *Kellicottia longispina*. По биомассе доминировали кладоцеры *Bosmina coregoni*, составляя 70%. Веслоногие ракообразные представлены науплиальными стадиями.

В зообентосе реки Вите встречено 20 видов (в 2018 г. – 24), среди них 10 видов Chironomidae, 4 – Ephemeroptera, 3 – Oligochaeta, по 1 виду Plecoptera, Simuliidae и Trichoptera. Количественные показатели ниже прошлогодних: общая численность находилась в пределах 1,76-2,76 тыс.экз./м², биомасса донных организмов изменялась от 1,32 до 4,6 г/м². Доминирующей группой являлись хирономиды (65% общей численности). Встречены виды-индикаторы: поденки *Heptagenia sulphurea* (β), *Baetis rhodani* (х-β), *Ephemerella ignita* (о-α), *Heptagenia coerulans* (β); веснянка *Taeniopteryx nebulosa* (о-β); ручейник *Rhyacophila nubila* (о-β) и мошки *Simulium reptans* (о-β).

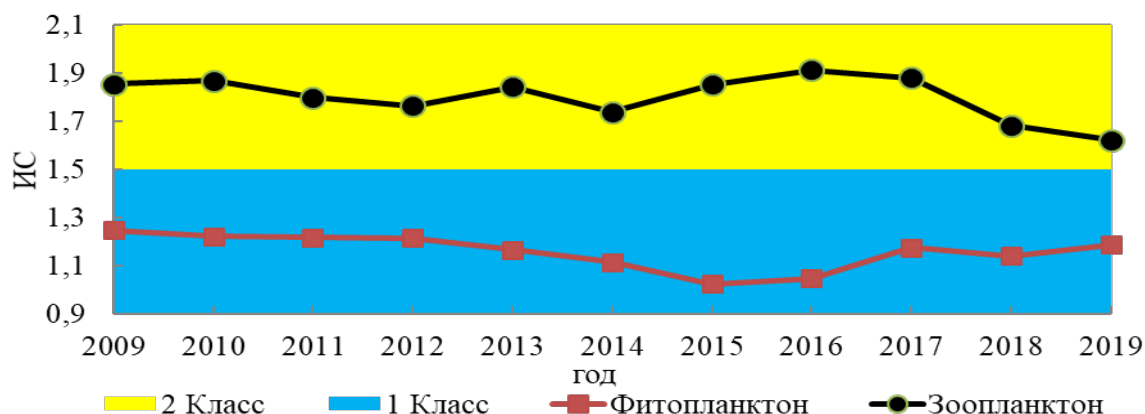


Рис. 3.4.5. Значение ИС в 2009-2019 гг., р. Вите.

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

Значения ИС и БИ в 2009-2019 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.5, 3.4.6.

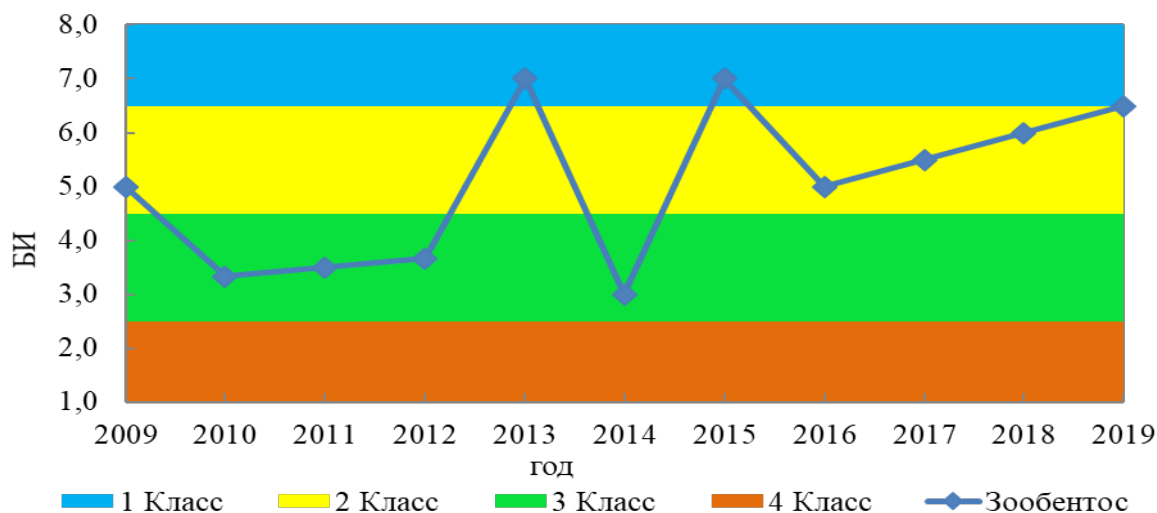


Рис. 3.4.6. Значение БИ в 2009-2019 гг., р. Вите.

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 46 видов (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 – 29, зеленых встречено 9, синезеленых – 8, харовых – 6, золотистых – 4, динофитовых – 3. Максимальное развитие водорослей отмечено в июне. Общая численность клеток достигала 3,02 тыс.кл./мл, а биомасса – 2,45 мг/дм³, что в два раза ниже прошлогодних значений. Доля синезеленых в общем количестве альгофлоры – от 20 до 60 %. Диатомовый комплекс доминировал по биомассе, составляя 57-62%. Вода «условно чистая».

В составе зоопланктона встречено 24 вида (в 2018 году – 18 видов, в 2017 г. – 20, в 2016 г. – 13, в 2015 г. – 24), из которых: 7 видов коловраток, 13 ветвистоусых и 4 веслоногих ракообразных. Наблюдается увеличение качественного разнообразия надотряда кладоцеры. Количественные результаты близки прошлогодним значениям. Общая изменялась от 0,47 до 7,17 тыс.экз./м³, а биомасса – от 15,36 до 91,09 мг/м³, максимальные количественные показатели зарегистрированы в августе. По биомассе доминировали крупные и ветвистоусые ракообразные, составляя 88-91% ОБ. Оценка качества воды не изменилась.

В бентофауне озера встречено 6 видов (в 2018 г. – 9), принадлежащих 3 группам донных организмов. По численности доминировали олигохеты *Enchytraeus albidus*. Количественные показатели значительно ниже прошлогодних: общая численность находилась в пределах 0,65-3,75 тыс.экз./м², а биомасса – 0,55-1,3 г/м². Среди хирономид встречены виды-индикаторы: *Stictochironomus rosenschoeldi* (α) и *Polypedilum scalaenum* (β-α).

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

Значения ИС и БИ в 2009-2019 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.7, 3.4.8.

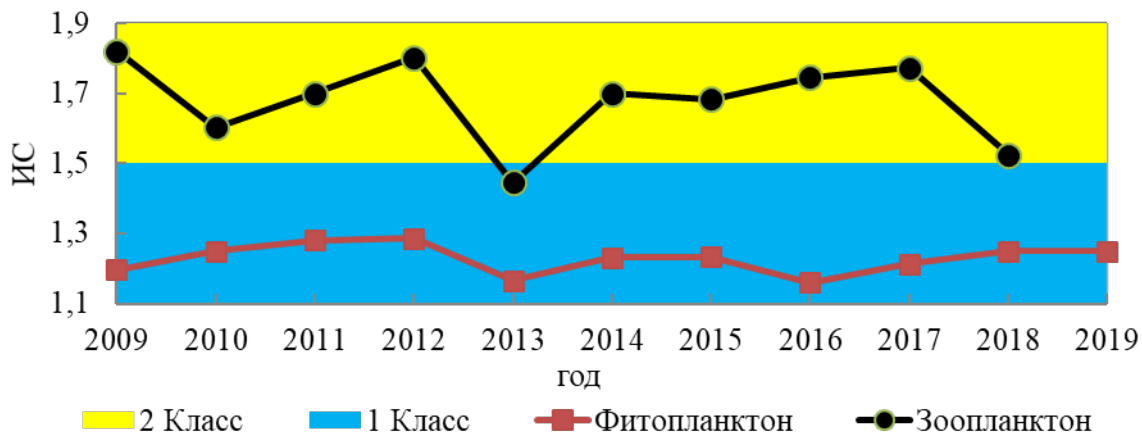


Рис. 3.4.7. Значение ИС в 2009-2019 гг., оз. Чунозеро.

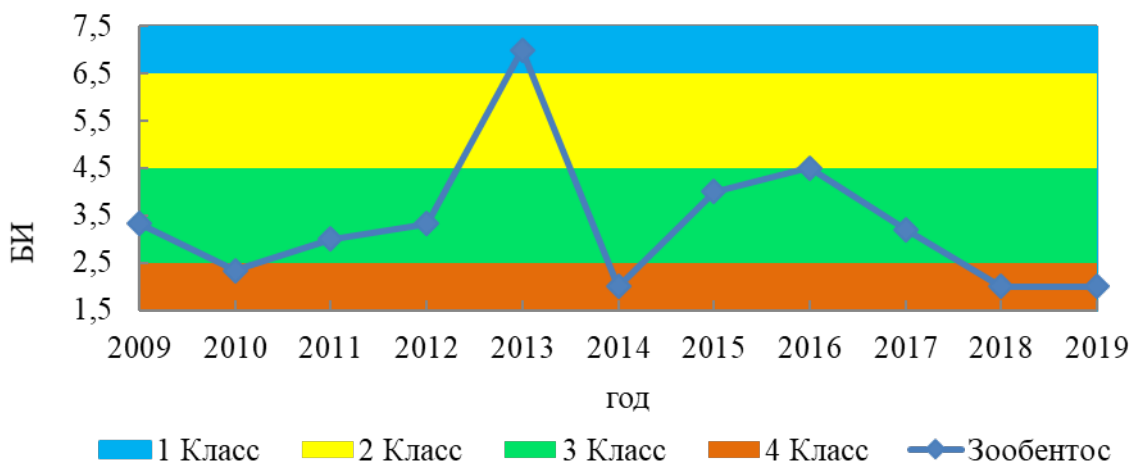


Рис. 3.4.8. Значение БИ в 2009-2019 гг., оз. Чунозеро.

Балтийский гидрографический район

Наблюдения в 2019 г. проводило Северо-Западное УГМС на реке Шуя (Республика Карелия) по показателям макрозообентоса.

Бассейн Онежского озера: Река Шуя (нижнее течение и устье).

В 2019 г. в составе зообентоса реки встречено 28 видов (2018 г. – 33; 2017 г. - 20 видов, в 2016 году – 7 видов, в 2015 г. – 14), относящихся к 12 таксономическим группам. Из них максимального видового разнообразия достигали хирономиды – 6 видов, ручейники - 5, поденки –

4, малощетинковые черви - 3 вида. Минимальное видовое богатство было представлено в группах: моллюски и стрекозы – по 2 вида, веснянки, клопы, большекрылые, ракообразные, двукрылые и пиявки – по 1 виду. Видовое разнообразие в пробе варьировало от 4 до 10 видов.

В пробах истокового створа встречено 13 видов. По численности и биомассе доминировали олигохеты и поденки. На устьевом створе - 15 видов, из которых по численности доминировали хирономиды, по биомассе – ручейники.

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

Каспийский гидрографический район

В бассейне Средней Волги гидробиологический мониторинг за фоновыми объектами производился на территории Жигулевского и Приокско-Террасного биосферных заповедников.

Жигулевский биосферный заповедник, озеро Кольчужное.

Озеро Кольчужное расположено на территории Жигулевского заповедника им. И.И.Спрыгина (остров Середыш, Саратовское водохранилище). Исследование состояния экосистемы проводится с 2017 г. по показателям фитопланктона, зоопланктона, перифитона и зообентоса.

За период исследования видовое разнообразие фитопланктона составило 77 видов: сине-зеленые и криптофитовые – по 5, зеленые – 24, диатомовые – 38, эвгленовые – 4, золотистые – 1. Доминировали весной криптофитовые, летом – диатомовые, осенью – синезеленые. Численность варьировала от 1,33 до 39,42 млн.кл./л, биомасса – от 0,55 до 25,29 мг/л.

В сообществе перифитона в период наблюдений встречен 41 вид. Весной доминировал один вид диатомовых и один вид зеленых водорослей, летом – зеленые и один вид диатомей. Из зооперифитона весной в массе присутствовали нематоды и хирономиды.

В зоопланктоне озера за период наблюдения обнаружено 37 видов (в 2018 г. – 41), из них: коловраток – 14, ветвистоусых ракообразных – 7, веслоногих – 16 (циклопид – 8, каляноид – 8). Преобладали в планктоне весной и осенью коловратки, летом – циклопиды, в 2018 г. - весной циклопиды и коловратки, летом – клadoцеры и коловратки, осенью – коловратки. Значения численности варьировали от 2,10 до 669,70 тыс.экз./м³, а биомассы – от 22,60 мг/м³ до 10734,9 мг/м³. Среднегодовые показатели значительно увеличились и составили 266,10 тыс.экз./м³ и 43893,30 мг/м³ (в 2018 г. – 34,50 тыс.экз./м³ и 379,20 мг/м³ соответственно).

В зообентосе отмечено 7 видов (в 2018 г. – 11). Массовыми как по численности, так и по биомассе в период наблюдений были две группы - олигохеты и хирономиды. Среднегодовая численность организмов снизилась по сравнению с прошлым годом, и составила 440,00 экз./м² (в 2018 г. – 1126,00 экз./м²).

Приокско-Террасный биосферный заповедник, реки Тоденка, Пониковка и Сушка.

Мониторинг состояния экосистем этих водотоков в 2019 г. осуществлялся по показателям зоопланктон, зооперифитон и зообентос.

Зоопланктон исследованных водоемов и водотоков насчитывает в общей сложности 45 видов, групп видов и форм планктеров, из которых: 18 видов – коловраток, 16 – ветвистоусых и 11 – веслоногих раков.

Зообентос исследованных водоемов и водотоков насчитывает в общей сложности 153 вида, группы видов и форм донных беспозвоночных. В 2019 г. список видов пополнился на 11

видов. Наибольшее их число (104) встречены в р. Тоденка. Сообщество зообентоса р. Сушка представлено 85 видами, в реке Пониовка – 48 видов. По количеству видов в группах к массовым относились олигохеты, двукрылые, ручейники, двустворчатые и брюхоногие моллюски, а так же поденки. Видовое разнообразие большинства исследованных объектов достаточно велико. Для р. Тоденка количество видов в пробе варьировало от 8 до 16 видов, в реке Сушка – лежало в диапазоне 8-20 видов, для реки Пониовка – 5-6 видов.

В период наблюдений с 2016-2019 гг. все исследованные водотоки и водоемы Приокско-Террасного биосферного заповедника характеризуются неизменно высоким качеством воды – условно чистые воды.

Экосистемы рек Тоденка и Пониовка находятся в состоянии экологического благополучия, экосистема р. Сушка — экологического благополучия с элементами экологического напряжения, что проявляется в обогащенной фауне зообентоса.

Восточно-Сибирский гидрографический район

Дельта р. Лена (у п.с. Хабарова). 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. Фоновые наблюдения проводили в районе полярной станции Хабарова, у о. Столб – Усть-Ленского государственного природного заповедника. Створ лежит в одном из рукавов дельтовой части реки Лена и по своей сути принадлежит к прибрежным морским акваториям. Преобладающие стоковые явления и опреснение прибрежных акваторий моря Лаптевых за счет таяния прибрежных льдов формируют в устье р. Лена, а также близлежащем заливе Неёлова уникальные условия обитания, где, по сути, прибрежные морские водоемы и водотоки заполнены пресной водой, а соленые морские воды блокируются пресноводной «подушкой» у берега и отодвигаются стоком реки Лена к северу. Гидродинамические особенности моря Лаптевых относят его к малопривливым морям, где его уровень во время прилива не превышает 20 см, что усложняет приток и перемешивание соленых морских вод с опресненными в рассматриваемых водных объектах и позволяет оценивать их по описанной методике.

Наблюдения проводили по показателям фитопланктона и зообентоса.

Фитопланктон р. Лена в створе о. Столб представлен 61 видом (в 2018 г. – 66), среди которых, как и в створе с. Кюсюр, основу фитоценоза как в качественном, так и в количественном отношении формировали космополитические диатомовые – 41 вид, зеленые – 16, синезеленые – 4 вида. Количественные показатели фитоценоза лежали в диапазоне многолетних наблюдений. Значения БИ и ИС в 2007-2019 гг. приведены на рисунках 3.4.9, 3.4.10.

Зообентос представлен 21 (в 2018 г. – 21; в 2017 – 20) короткоцикловым видом беспозвоночных, относящихся к 8 группам. Наибольшее видовое разнообразие принадлежит комам-звонцам – 6 видов, малощетинковым червям – 4 вида и ручейникам – 3, поденки, веснянки и двустворчатые представлены по 2 вида, бокоплавы и типулиды – по 1. За предыдущие, 2015-2018 гг. значения качества воды по показателям зообентоса аналогичны, изменений в качестве воды не отмечено.

Качество воды в реке по гидробиологическим показателям находится на уровне многолетних значений. Сообщества макрозообентоса не формируются в связи с коротким вегетаци-

онным сезоном и экстремальными условиями обитания гидробионтов. В связи с этим состояние экосистемы дельтовой части р. Лена следует рассматривать как экологическое благополучие.

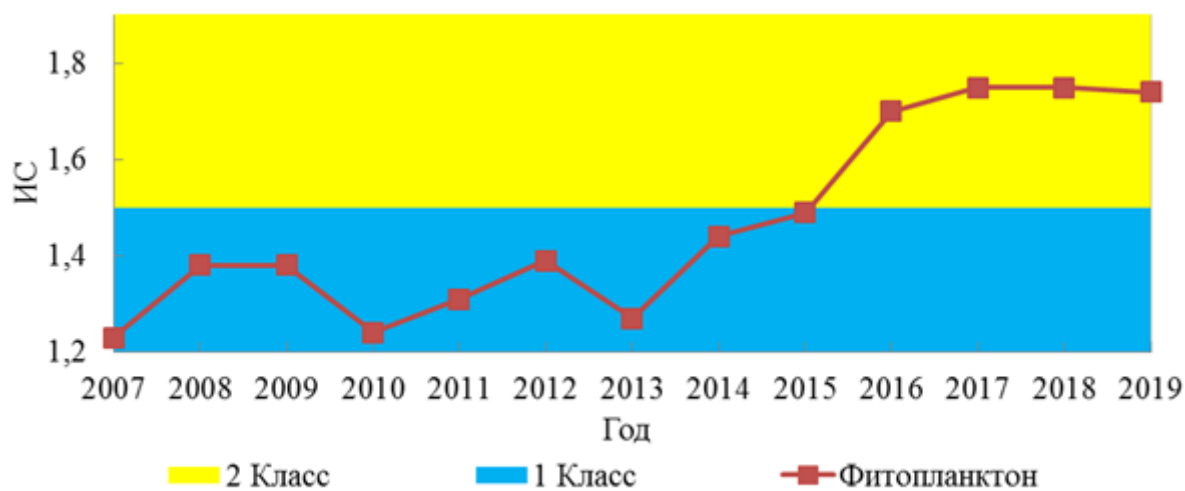


Рис. 3.4.9. Значения ИС в 2007-2019 гг., р. Лена ст. Хабаров

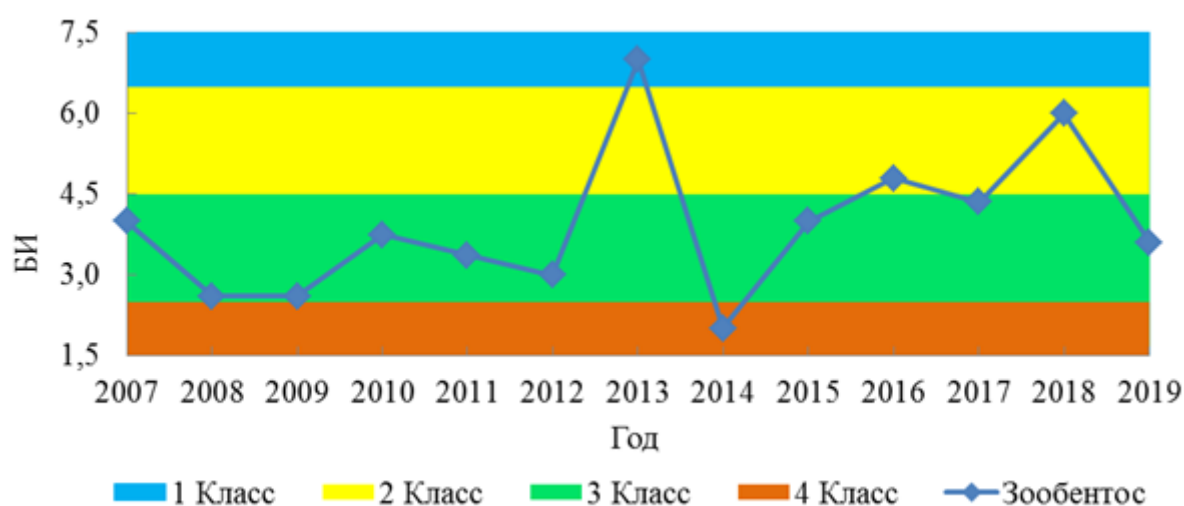


Рис. 3.4.10. Значения БИ в 2007-2019 гг., р. Лена ст. Хабаров

Бассейн Нижней Лены, р. Копчик-Юреге (п. Полярка). Наблюдения проведены по 2-м показателям: фитопланктон и зообентос.

В составе фитопланктона реки встречено 34 вида (в 2018 г. – 7; 2017 г. - 21), основу фитоценоза как в качественном, так и в количественном отношении формировали космополитические диатомовые – 25 видов, зеленые – 7, синезеленые – 2 вида. Количественные показатели фитоценоза лежали в диапазоне многолетних наблюдений. Значения БИ и ИС в 2007-2019 гг. приведены на рисунках 3.4.11, 3.4.12.

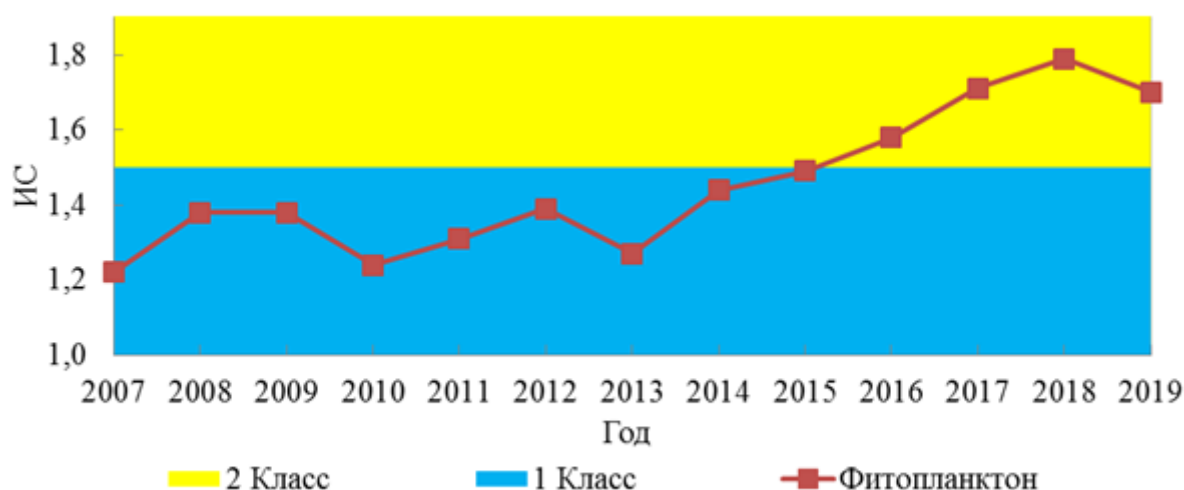


Рис. 3.4.11. Значения ИС в 2007-2019 гг., р. Копчик-Юреге

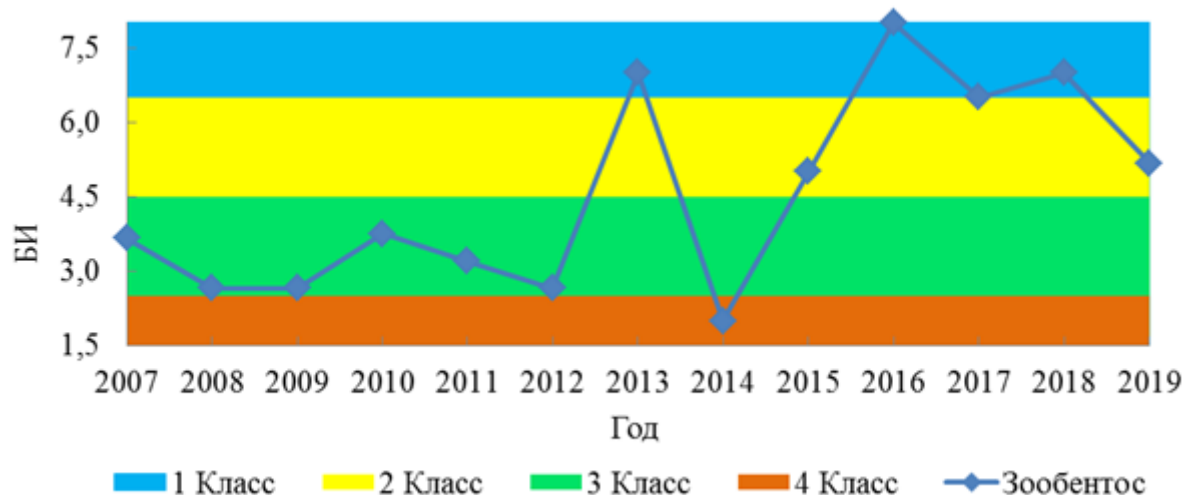


Рис. 3.4.12. Значения БИ в 2007-2019 гг., р. Копчик-Юреге

Население бентали представлено 6-ю видами (в 2018 г. – 7), среди которых наибольшим числом видов представлены веснянки – 3 вида и хирономиды – 2, поденки – 1-м видом. Количественные и качественные показатели зообентоса по сравнению с 2014-2018 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 короткоцикловые виды гидробионтов, в то же 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 было исследован створ реки в 9 км выше устья, расположенный в охранной зоне государственного природного заповедника «Столбы».

В 2019 году в составе перифитона встречено 105 видов принадлежащих к 17 систематическим группам. Видовое разнообразие перифитона р. Базаихи незначительно возросло по сравнению с данными 2016 года (112 видов) за счет выпадения некоторых диатомовых водорослей. Данные в 2017 и 2018 гг. имеют незначительные отличия (102 и 103 вида организмов соответственно).

В составе фитоперифитона зарегистрировано 78 видов из 6 систематических групп, зооперифитона – 27 видов из 11 систематических групп.

В фитоперифитоне ведущее место занимали диатомовые водоросли (59 видов). По сравнению с 2016–2018 гг. синезеленые и зеленые водоросли встречались реже. В зооперифитоне наибольшим видовым разнообразием отличались личинки подёнок, ручейников и хирономид. Подёнки *Epeorus pellucidus*, ручейники *Arctopsyche ladogensis*, *Oligoplectrodes potanini* и *Ceratopsyche nevae* достигали массового развития.

Зоопланктон реки малочисленный, отмечено наличие 14 видов (в 2018 г. – 7), из них Cladocera – 1, Copepoda – 3, Rotatoria – 10. Зоопланктон верхнего и нижнего (7 и 9 видов соответственно) участков очень беден и мало различается по видовому составу структурообразующих видов. Сообщество составлено по большей части транзитными видами, так как высокая скорость течения затрудняет развитие автохтонного зоопланктона. Группа ветвистоусых раков представлена единичными фитофильными *Graptoleberis testudinaria*, обнаруженными в районе устья реки в сентябре. Группу веслоногих раков в течение всего периода исследований составляли неполовозрелые (науплиальные и копеподитные) и взрослые стадии литоральных и фитофильных циклопов и единичные гарпактициды. Состав коловраток на станциях типично речной, это мелкие и немногочисленные представители сем. Philodiniidae, рода *Notholca*, *Keratella quadrata*. По сравнению с предыдущими 2017-2018 годами произошло увеличение видового разнообразия, в основном за счет сообщества коловраток.

В сезонном аспекте зоопланктон в очень небольшом количестве развивался летом, весной и осенью, биоразнообразие р. Базаиха ограничивалось единичными гидробионтами, в основном это были неполовозрелые копеподы.

В количественном отношении зоопланктон реки небогат: в целом по исследуемому участку р. Базаиха его плотность составляла $0,06 \pm 0,01$ тыс. экз./м³ и $0,4 \pm 0,1$ мг/м³. На верхней станции численность $0,06 \pm 0,01$ тыс. экз./м³, биомасса $0,4 \pm 0,2$ мг/м³, максимальная плотность зоопланктона за счет развития коловраток отмечена в июне (60 экз./м³). На нижней станции общие величины численности и биомассы сообщества – $0,07 \pm 0,02$ тыс. экз./м³ и $0,4 \pm 0,2$ мг/м³ с максимумом по плотности в июне (140 экз./м³ и 1,5 мг/м³).

Значения ИС в 2010-2019 гг. представлены на рисунке 3.4.13.

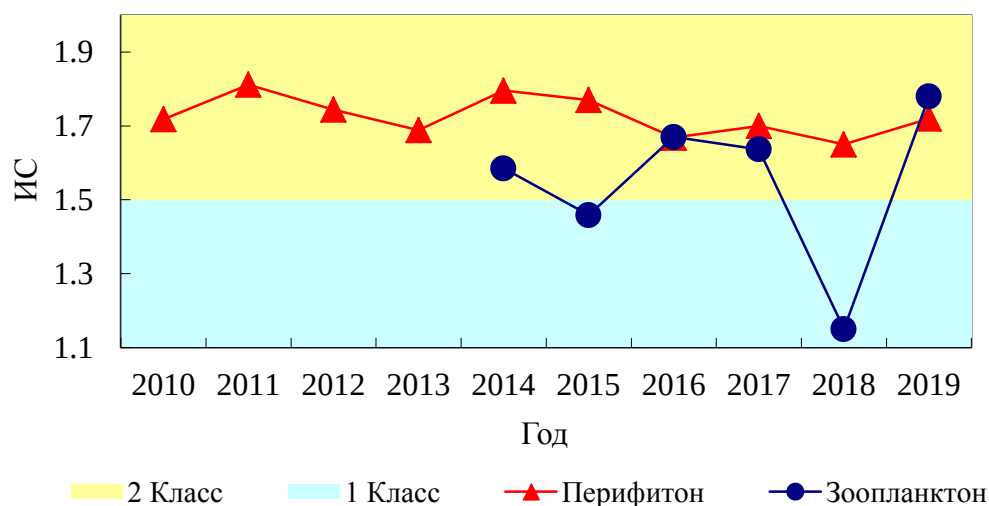


Рис. 3.4.13. Значения ИС в 2010-2019 гг., р. Базаиха

Зообентос представлен 88 видами донных беспозвоночных (в 2018 г. – 80; 2017 г. – 66) из 11 систематических групп. Наибольшее число видов приходилось на отряды: двукрылых – класс насекомых – 78 таксонов, из них отряды: личинки двукрылых – 37, ручейников и поденок – по 16, веснянок – 5, жуков – 3, клопов – один таксон. Среди малощетинковых червей зарегистрировано 4 вида, амфиподы и брюхоногие моллюски – по 2 вида, пиявки и планарии – по одному таксону.

На станциях преобладали личинки двукрылых, поденок и ручейников, среди которых чаще других встречались β – мезосапробы.

Значения БИ в 2010-2019 гг. представлены на рисунке 3.4.14.

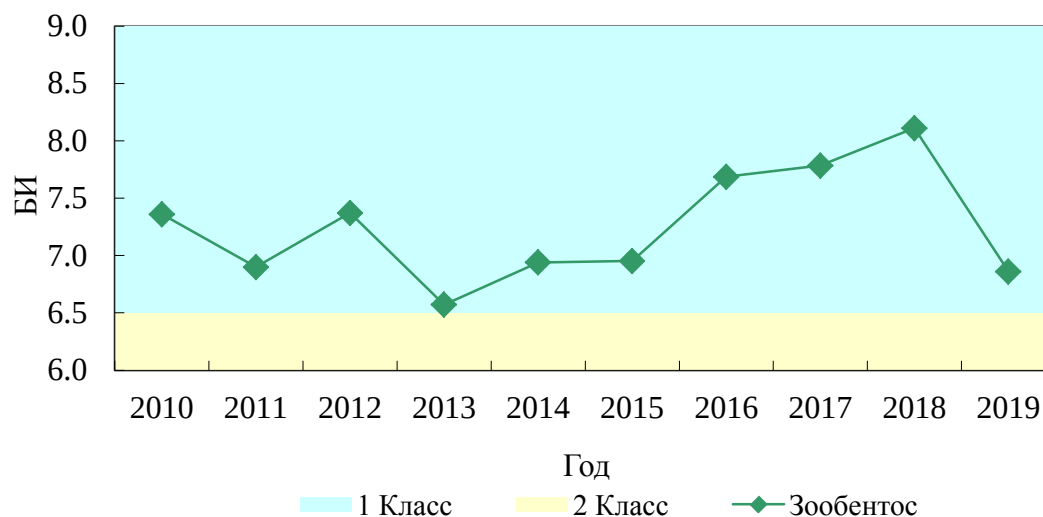


Рис. 3.4.14. Значения БИ в 2010-2019 гг., р. Базаиха

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

Бассейн оз. Байкал, река Джида. В составе фитопланктона левого притока р. Селенга – р. Джиде встречено 70 видов водорослей (в 2018 г. – 72), из которых наибольшее видовое разнообразие принадлежало диатомовым – 66 видов, зелёные – представлены 4-мя. По доле в численности и биомассе доминировали диатомовые.

Зоопланктон реки насчитывал 6 видов, среди которых наибольшее видовое разнообразие принадлежало коловраткам – 5 видов, веслоногие – 1.

В составе зообентоса встречено 13 видов (в 2018 г. - 17, 2017 г. - 23). Наибольшее видовое разнообразие отмечено для групп Ephemeroptera – 6 и Chironomidae – 4, веснянки, малощетинковые черви и мошки были встречены единичными представителями. Средняя численность зообентоса составила 0,42 тыс.экз./м², средняя биомасса – 0,70 г/м². В сравнении с прошедшим годом в связи с изменением температуры водотока, отмечено снижение численности в 3 раза (в 2018 г. – 1,24 тыс.экз./м²), при уменьшении биомассы в 6 раз (в 2018 г. - 4,12 г/м²). Значения ИС и БИ в 2007-2019 гг. представлены на рисунках 3.4.15 и 3.4.16. Отмеченное в 2016 г. изменение класса качества вод сохраняется и в 2019 г.

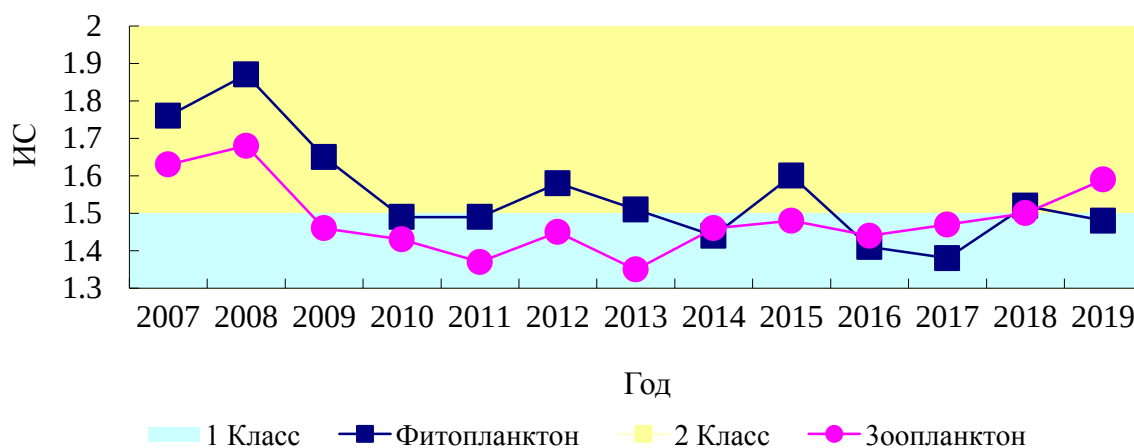


Рис. 3.4.15. Значения ИС в 2007-2019 гг. р. Джида

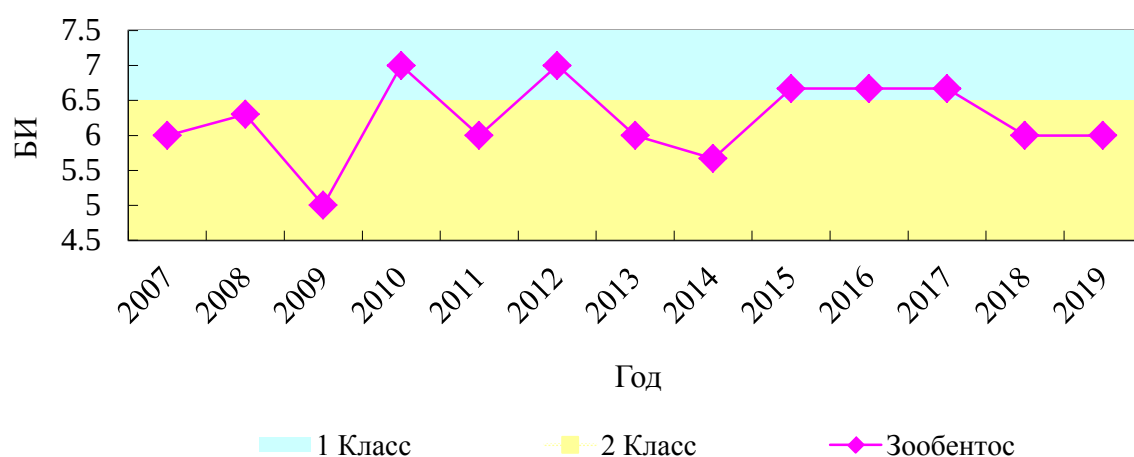


Рис. 3.4.16. Значения БИ в 2007-2019 гг. р. Джида

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.

Зоопланктон представлен 10 видами (в 2018 г. – 7), из них: 4 вида коловраток, 2 вида ветвистоусых и 4 вида веслоногих раков. Численность зоопланктона в реке изменялась от 0,03 до 0,17 тыс. экз./м³, биомасса – от 0,30 до 11,31 мг/м³. Во все периоды по биомассе в планктоне доминировали веслоногие ракообразные. Наиболее высокую численность зоопланктона зарегистрировали в июне за счет развития коловраток и ветвистоусых.

Качество вод по показателям зоопланктона по сравнению с предыдущим годом незначительно ухудшилось. Значения ИС в 2015-2019 гг. представлены на рисунке 3.4.17.

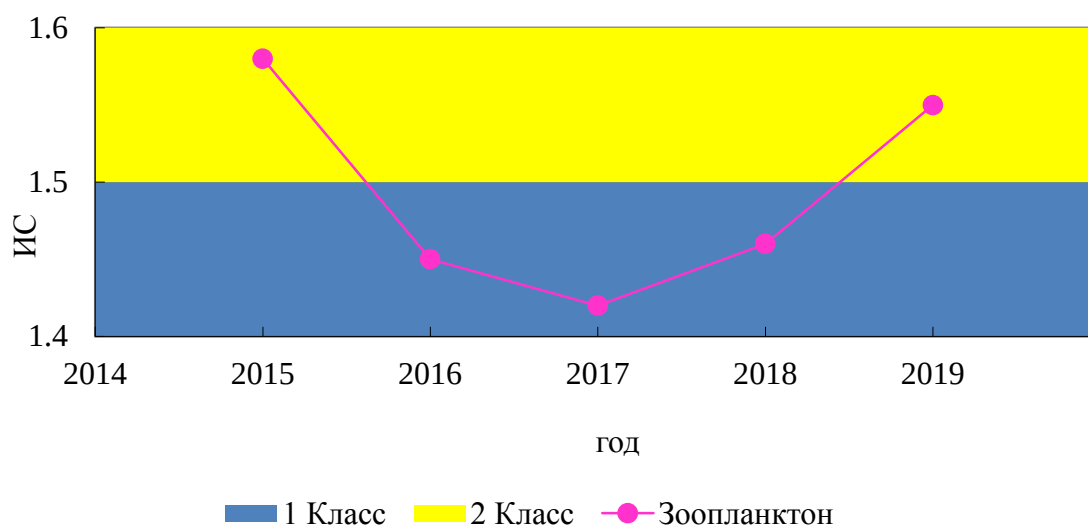


Рис.3.4.17. Значения ИС в 2015-2019 гг., р. Чирка

Экосистема находится в состоянии антропогенного экологического напряжения.

Река Ивановка В период наблюдений 2019 г. в составе зоопланктона реки Ивановка в селе Ивановка встречено 5 видов, включая: 1 - коловратки, 1 - ветвистоусых и 3 веслоногих ракообразных.

Фауна зоопланктона очень бедна и представлена коловратками – 1%, ветвистоусыми ракообразными – 3% и веслоногими рачками – 96%. Численность зоопланктона в реке изменялась от 0,01 до 0,03 тыс. экз./м³, биомасса – от 0,10 до 2,50 мг/м³. По биомассе в планктоне доминировали веслоногие ракообразные, по численности – коловратки.

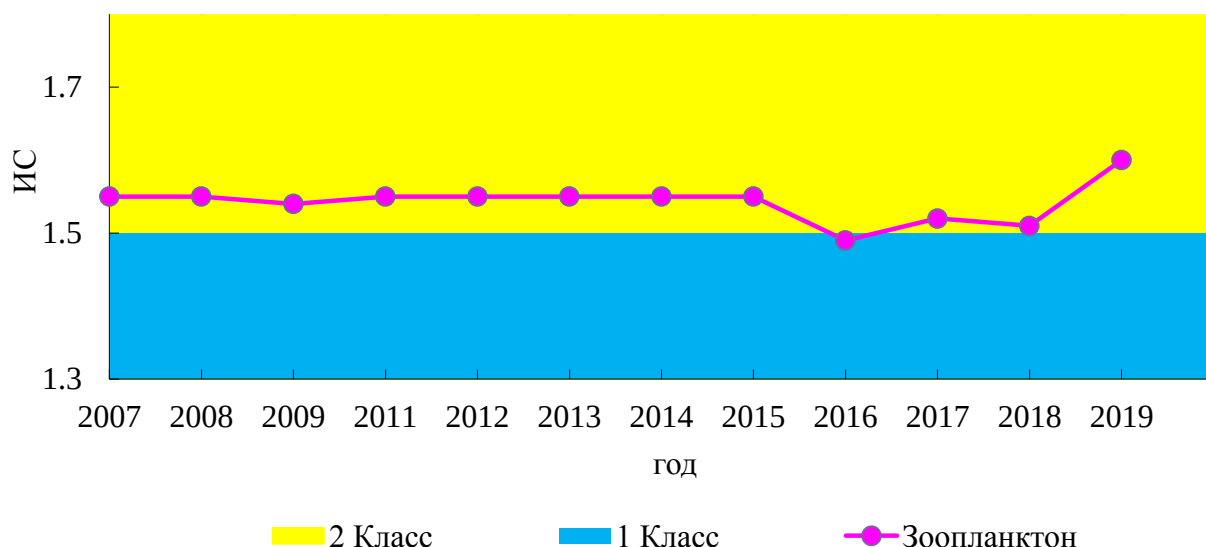


Рис. 3.4.18. Значения ИС в 2007-2019 гг., р. Ивановка

Качество вод остается неизменным на протяжении многих лет. Значения ИС в 2007-2019 гг. представлены на рисунке 3.4.18.

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

Таким образом, в Баренцевском, Балтийском, Карском и Восточно-Сибирском гидрографических районах на всех 9 фоновых участках выбранных водных объектов экосистемы в 2013-2019 гг. не претерпели серьезных изменений, вариации качества воды лежали в пределах одного класса. Состояние экологического благополучия характерно для 10 фоновых участков: рек Лотта, Витте и Нижняя Чуна (Лапландский БЗ) в Баренцевском гидрографическом районе, рек Приокско-Тerrasного БЗ в Каспийском гидрографическом районе, р. Джиды бассейна оз. Байкал в Карском гидрографическом районе, реки Лена (Усть-Ленский БЗ) и Копчик-Юреге в Восточно-Сибирском, и р. Ивановка Тихоокеанского гидрографического района.

До 2017 года состояние экосистем водотоков Нижней Лены оценивалось как «находящихся в состоянии антропогенного экологического напряжения». Однако долговременные наблюдения показали, что в арктическом регионе в связи с коротким безледным периодом метод оценки состояния экосистем по гидробиологическим показателям согласно РД 52.24.309-2016 не приемлем. В связи тем, что низкие температуры в вегетационный период не позволяют формироваться достаточным объемам первичной продукции, развитие зоопланктона крайне замедлено. Фауна макрозообентоса формируется приносимыми с паводковыми водами рек гидробионтами и не отвечает на антропогенное воздействие, а её видовой состав определяется, прежде всего, экстремальными условиями среды и притоком гидробионтов извне в половодье.

4. МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ

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 2019 г. содержание в атмосферном воздухе большинства определяемых загрязняющих веществ сохранилось на прежнем уровне. Неблагоприятное влияние метеорологических условий проявилось в апреле и октябре. В эти периоды метеорологические условия (отсутствие осадков в течение длительного периода времени, слабый ветер, штиль, туман, дымка) способствовали накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе многих городов республики, что спровоцировало увеличение уровня загрязнения атмосферного воздуха газообразными загрязняющими веществами и твердыми частицами независимо от размера фракций.

Согласно рассчитанным значениям индекса качества атмосферного воздуха (далее по тексту - ИКАВ), состояние воздуха в 2019 г. оценивалось, в основном, как очень хорошее, хорошее и умеренное, доля периодов с удовлетворительным качеством атмосферного воздуха была незначительна. Периоды с плохим и очень плохим качеством воздуха отсутствовали (рисунок 4.1).

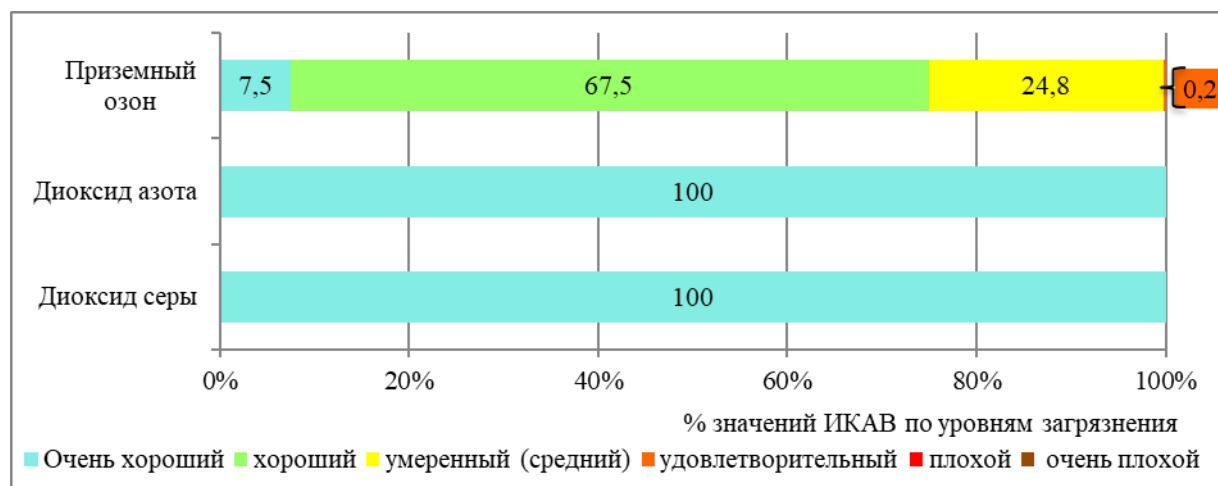


Рис. 4.1. Распределение значений ИКАВ (%) в 2019 г. по результатам мониторинга СФМ Березинский заповедник

Серы диоксид. По данным непрерывных наблюдений, среднегодовая фоновая концентрация серы диоксида составляла 6,3 мкг/м³ (0,13 ПДК) и сохранилась на уровне 2018 г. Максимальная среднесуточная концентрация 28,2 мкг/м³ зафиксирована 21 октября. Сезонные из-

менения содержания в воздухе серы диоксида не имели ярко выраженного характера. Некоторый рост концентраций серы диоксида зафиксирован в апреле и октябре.

Азота диоксид. Среднегодовая фоновая концентрация азота диоксида составляла 2,3 мкг/м³ (0,06 ПДК) и была на уровне предыдущего года. Максимальная среднесуточная концентрация 0,02 ПДК зафиксирована 14 марта. Сезонные изменения концентраций не имели ярко выраженного характера.

Сульфаты. Среднегодовая фоновая концентрация сульфатов составляла 0,98 мкг/м³ (в 2018 г. – 1,64 мкг/м³). Минимальное содержание сульфатов в атмосферном воздухе зафиксировано в марте: среднемесячная концентрация составляла 0,58 мкг/м³; максимальное содержание (2,96 мкг/м³) – в январе. Максимальная среднесуточная концентрация сульфатов составляла 10,38 мкг/м³ (29 января).

Значительные межгодовые колебания средних концентраций сульфатов не позволяют однозначно охарактеризовать тренды изменений.

Твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль). Среднегодовая фоновая концентрация твердых частиц (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль) составляла 1,1 мкг/м³ (в 2018 г. – 1,3 мкг/м³). Как и в предыдущие годы, на этом фоне выделяется заметное увеличение содержания твердых частиц в апреле – мае (рисунок 4.2), по составу преимущественно терригенного происхождения, что очевидно, связано с проведением весенних сельскохозяйственных работ в регионе. Кроме того, в конце апреля, начале мая, в составе твердых частиц резко возросла массовая доля пыли от цветущих луговых и лесных растений. Также существенный вклад в увеличение концентраций твердых частиц в третьей декаде апреля внес дефицит атмосферных осадков.

Максимальная среднесуточная концентрация твердых частиц, зафиксированная 24 апреля, составила 116 мкг/м³ (0,78 ПДК). Минимальное содержание в воздухе твердых частиц зафиксировано в феврале.



Рис. 4.2. Внутригодовое распределение концентраций твердых частиц в атмосферном воздухе Березинского заповедника, 2019 г.

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

Твердые частицы фракции размером 10 мкм и менее. По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация твердых частиц фракции размером 10 мкм и менее (далее по тексту - ТЧ-10) составляла 0,2 ПДК и была на уровне предыдущего года. Количество дней со среднесуточными концентрациями выше 25 мкг/м³ (0,5 ПДК) составляло 3,2% (в 2017 г. и 2018 г. – 1,1% и 2,9% соответственно). В годовом ходе существенное увеличение содержания в воздухе ТЧ-10 зафиксировано в апреле и октябре, которые характеризовались неблагоприятными метеорологическими условиями (рисунок 4.2). Максимальные среднесуточные концентрации ТЧ-10 превышали норматив качества в 1,03-1,26 раза в течение трех дней. Основная роль в формировании уровня загрязнения воздуха принадлежала региональному и глобальному переносу. По результатам лидарных измерений государственного научного учреждения «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», в апреле наблюдалось комплексное загрязнение атмосферы вследствие дальнего переноса дыма от пожаров и сахарской пыли.

Фоновый уровень концентраций ТЧ-10 в приземном слое атмосферы региона обусловлен трансграничным переносом. Увеличение содержания ТЧ-10 в теплый период года характеризуется природными и антропогенными факторами.

Тяжелые металлы и бенз(а)пирен. Среднесуточные концентрации свинца и кадмия были ниже пределов обнаружения. Содержание бенз(а)пирена в воздухе определяли в отопительный сезон (январь-март, октябрь-декабрь). Среднемесячные концентрации бенз(а)пирена были ниже предела обнаружения.

Бензол. Содержание в воздухе бензола было значительно ниже норматива качества. Максимальная среднесуточная концентрация бензола 0,3 мкг/м³ (0,01 ПДК) зафиксирована 18 декабря.

Приземный озон. По данным непрерывных наблюдений, среднегодовая фоновая концентрация приземного озона составляла 56 мкг/м³ и была ниже, чем в прошлом году (в 2018 г. – 64 мкг/м³). В годовом ходе существенное увеличение содержания в воздухе приземного озона отмечено в марте. Максимальные среднесуточные концентрации незначительно (до 1,1 раза) превышали норматив качества. Минимальное содержание в воздухе приземного озона отмечено в ноябре-декабре.

Углерода диоксид. Среднегодовая концентрация углерода диоксида составляла 833 мг/м³ и была ниже, чем в прошлом году (в 2018 г. – 852 мг/м³). Максимальное среднемесячное значение (875 мг/м³) отмечено в марте, минимальное (812 мг/м³) – в октябре. Среднесуточные концентрации варьировались в широком диапазоне: от 835 мг/м³ до 926 мг/м³.

По данным непрерывных измерений, среднегодовые концентрации углерода диоксида в 2010-2019 гг. варьируются в диапазоне от 789 мг/м³ до 855 мг/м³ и согласуются с данными зарубежных станций фонового мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка тренда фоновой содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и осадках за последние 15-20 лет, включая 2019 г., на территории Беларуси и России, свидетельствует о сохранении на территории указанных государств 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 годах снижение концентраций, обусловленное спадом промышленного производства, прекратилось в 2000-2001 г., и можно ожидать увеличение фоновой загрязненности атмосферы некоторыми загрязняющими веществами.

За период с 2009 по 2019 гг. концентрация CO_2 в Териберке увеличилась на $24,2 \text{ млн}^{-1}$. За период с 2009 по 2019 гг. концентрация CH_4 увеличилась на $60,7 \text{ млрд}^{-1}$. Ее возрастание в 2019 г. на станции Териберка составило $14,7 \text{ млрд}^{-1}$ и $23,3 \text{ млрд}^{-1}$ на станции Тикси. Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем в 2019 г. отмечалось на станциях Новый порт и Воейково, однако не выходило за пределы наблюдаемых за многолетний период вариаций. Превышение концентрации CH_4 в Санкт-Петербурге характеризуется большим разбросом значений от 90 до 227 млрд^{-1} , что может быть связано с большим количеством источников метана в городе и их неоднородным распределением.

В течение 2019 г. во всех регионах наблюдались значительные периоды с аномально низкими и аномально высокими значениями озона. Над всей территорией РФ в 2019 г. средняя за год толщина озонового слоя составила 358 е.Д. и оказалась выше нормы (353 е.Д.) всего на 1,2%.

На всех станциях наблюдались пониженные значения ОПА по сравнению с 30-летней нормой. Наиболее существенно это проявилось на станциях Воейково (-7,7%), Усть-Вымь (-7,2%), Памятное (-6,7%) и Туруханск (-6,4%). На станциях Курган, Хужир, Иркутск и Шаджатмаз уменьшение ОПА по отношению к норме не превышало 4%. И только на станции Сыктывкар ОПА была снижена незначительно (-1,5%). На станциях, работающих по программе фоновой мониторинга, за последние 20 лет не было зафиксировано значимых трендов среднегодовых значений оптической плотности атмосферы.

По сравнению с предшествующим периодом (2011 – 2018 гг.) в 2019 году не отмечалось существенных изменений градиента потенциала электрического поля атмосферы.

В 2019 г. среднегодовые фоновые концентрации тяжелых металлов и полиароматических углеводородов в атмосферных осадках сохранились на низком уровне. Содержание пестицидов в атмосферных осадках сохранилось на крайне низком уровне прошлых лет.

В 2019 г. по данным наблюдений на станциях фоновой мониторинга химического состава осадков и состава атмосферы, входящих в качестве региональных в состав сети Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, содержание отдельных ионов, минерализация, удельная электропроводность и величина pH отличались от среднеежегодных годовых значений не более чем 10%.

На российских станциях ЕМЕП в 2019 г. кислые осадки ($\text{pH} < 4$) практически не наблюдались; на всех станциях повторяемость выпадений атмосферных осадков с pH от 5 до 6 превышала 50%. Рассчитанные по средневзвешенным концентрациям и месячным суммам выпав-

ших осадков величины влажных выпадений для районов станций составляли в 2019 г.: 0,32–0,69 и 0,16–0,43 г/м² в год для серы и суммарного азота соответственно. Для всех станций ЕМЕП потоки влажных выпадений серы и азота в зимний период были существенно ниже, чем в летний. Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2019 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. Для азота на северных станциях ЕМЕП суммарные выпадения 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 на станциях ЕАНЕТ в 2019 г. наиболее высокие значения содержания практически всех ионов характерны для аэрозолей в Приморском крае, где также заметен и значительный вклад азотсодержащих соединений. В районе озера Байкал сохранялись более низкие значения, а содержание практически всех основных ионов в аэрозолях воздуха уменьшилось вдвое. Концентрации серо- и азотсодержащих веществ в воздухе на станциях в районе оз. Байкал продолжают снижаться на среднегодовом уровне по сравнению с периодом 2015–2017 гг. На станции Приморская в 2017–2019 гг. содержание в атмосфере серо- и азотсодержащих веществ (нитратов и ионов аммония) в аэрозолях было значительно меньше по сравнению с периодом 2013–2015 гг.

По результатам обследования в 2011–2019 гг., содержание тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей в почвах, а также вегетативных органах древесной и травянистой растительности районов размещения СКФМ находится в пределах интервалов среднемноголетних значений. Содержание в почвах СКФМ приоритетных органических загрязнителей характеризует их экологическое состояние в основном как благополучное.

Анализ значений фоновых массовых долей токсикантов промышленного происхождения в почвах Российской Федерации позволяет оценить состояние почв фоновых районов как благополучное.

Фоновое содержание ртути, свинца, кадмия, бенз(а)пирена и бензперилена в поверхностных водах большинства районов России соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние годы.

Анализ качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям показал, что в 2019 г. по сравнению с 2018 г. качество воды на водных объектах с высоким уровнем загрязненности мало изменилось. Количество створов с высоким уровнем загрязненности воды на водных объектах РФ сохранилось прежним.

В целом по результатам фоновых наблюдений за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети ЕАНЕТ, в последний год не наблюдалось увеличение содержания основных ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+}) и кислотности для р. Комаровка (Приморье). Для р. Переемная уровни основных ионов в течение последних 9 лет в целом сохраняются стабильными.

В период с 2014 по 2019 гг. состояние наблюдаемых экосистем рек, озер и водохранилищ в России по гидробиологическим показателям сохранялось на стабильном уровне, карди-

нальных изменений в таксономическом составе и структуре сообществ, а также для градации состояния экосистем не было выявлено.

В Баренцевском, Балтийском, Карском и Восточно-Сибирском гидрографических районах на всех 9 фоновых участках выбранных водных объектов экосистемы в 2013-2019 гг. не претерпели серьезных изменений, вариации качества воды лежали в пределах одного класса. Состояние экологического благополучия характерно для 10 фоновых участков: рек Лотта, Витте и Нижняя Чуна (Лапландский БЗ) в Баренцевском гидрографическом районе, рек Приокско-Террасного БЗ в Каспийском гидрографическом районе, р. Джида бассейна оз. Байкал в Карском гидрографическом районе, реки Лена (Усть-Ленский БЗ) и Копчик-Юреге в Восточно-Сибирском, и р. Ивановка Тихоокеанского гидрографического района.

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 на этой станции мониторинга соответствует уровню загрязнения природных сред европейской части России.

Список сокращений

АТР	- Азиатская территория 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
ЕТР	- Европейская территория 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, Стан- ция КФМ	- станция комплексного фонового мониторинга
СНГ	- Содружество Независимых Государств
СПАВ	- синтетические поверхностно-активные вещества
ТМ	- тяжелые металлы
ХОП	- хлорорганические пестициды

СПИСОК АВТОРОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ	Егоров В.И.	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., Александрова М.С., Жигачева Е.С., Иванов В.А., Колесникова А.П., Николаева А.М., Орчикова К.М., Галушин Д.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., Соколенко Л.Г., Зайнетдинов Б.Г., Соломатникова А.А., Ромашкина К.И., Волохина Д.Ю. Вязанкин А.С., Цветкова Н.Д., Банкова Т.В., Кирышов Б.М., Лукьянов А.Н., Глазков В.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.	ФГБУ «ИГКЭ»
1.3.2 Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	Першина Н.А., Павлова М.Т., Полищук А.И., Семенец Е.С., Грановская Е.В., Лободина С.Т., 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., Трифонова-Яковлева А.М. Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Нецветаева О.Г., Оболкин В.А.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУН «ЛИН СО РАН»
1.5 Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих веществ	Брускина И.М., Громов С.А., Конькова Е.С., Александрова М.С.	ФГБУ «ИГКЭ»
2 ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ		
2.1 Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности	Парамонова Т.А., Парамонов С.Г., Александрова М.С.	МГУ им. М.В. Ломоносова ФГБУ «ИГКЭ»
2.2 Содержание загрязняющих веществ в почвах по результатам наблюдательной сети Росгидромета	Павлова Н.Н., Лукьянова Н.Н., Башилова Н.И.	ФГБУ «НПО «Тайфун»
3 ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ		
3.1 Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ	Парамонов С.Г., Бурцева Л.В., Пастухов Б.В.	ФГБУ «ИГКЭ»
3.2 Данные станций гидрохимических наблюдений	Лобченко Е.Е., Емельянова В.П., Первышева О.А., Романюк О.Л., Купряхина Е.М.	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., Кандыба И.В.	ФГБУ «ИГКЭ»
4 МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ	Срыбный А.В., Мельник Е.А. Парамонов С.Г.	Березинский БЗ (Республика Беларусь) ФГБУ «ИГКЭ»
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 2019.

Edited by Professor G. M. Chernogaeva

The Review summarizes the results of background monitoring of the state of the natural environment and its pollution in the CIS countries in 2019. The review presents information and data on the levels of pollution 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 governmental 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 in the field of pollution assessment and environmental protection.

Conclusions

The results of an assessment of the trend in the background content of pollutants in atmospheric air and precipitation over the past 15-20 years, including 2019, on the territory of Belarus and Russia, give evidence on the same conditions that ensured the low background levels of lead, cadmium, sulfur and nitrogen compounds, benz(a)pyrene, and pesticides in the natural environment remaining in the territory of these countries. However, the analysis of changes in the atmospheric air pollutants on the European territory of Russia shows that the decrease in concentrations observed in the 1990s due to the decline in industrial production had stopped in 2000-2001, and we may expect an increase in background air pollution with certain compounds.

For the period from 2009 to 2019 the CO₂ concentration at Teriberka station increased by 24.2 ppm and CH₄ increased by 60.7 ppb. For the last year (2019) the growth was 14.7 ppb at Teriberka and 23.3 ppb at Tiksi station. The excess of greenhouse gas concentrations above the background level was observed at the Novy port and Voeikovo stations in 2019, but it did not exceed the limits of variations observed during a long-term period. The excess of CH₄ concentration in Saint Petersburg is within a wide range of values from 90 to 227 ppb, which might be caused due to the large number of methane sources in the city with their heterogeneous distribution.

During 2019, abnormally low and abnormally high ozone values were observed for significantly extended periods in all regions. The average annual thickness of the ozone layer was 358 DU to be higher than normal (353 DU) by only 1.2% for the whole territory of the Russian Federation in 2019.

All stations had recorded lower values of the atmosphere optical density compared to the 30-year norm. This was the most significantly appeared at Voeikovo (-7.7%), Ust-Vym (-7.2%), Pamyatnoe (-6.7%) and Turukhansk (-6.4%) stations. At Kurgan, Khuzhir, Irkutsk, and Shajatmaz stations, the decrease in atmospheric optical density did not exceed 4% in relation to the norm. And it was reduced slightly (-1.5%) only at the Syktyvkar station. No significant trends have been recorded in the average annual values of the atmospheric optical density for the past 20 years at stations operating under the background monitoring program.

There were no significant changes in the gradient of the atmospheric electric field potential in 2019 in comparison with the previous period (2011 – 2018).

In 2019, the average annual background concentrations of heavy metals and PAH in atmospheric precipitation remained low. The content of pesticides in atmospheric precipitation was an extremely low level of previous years.

In 2019, 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 2019, acid precipitation ($\text{pH} < 4$) was almost not observed; the frequency of precipitation with a pH of 5 to 6 exceeded 50% for all stations. The annual wet deposition values for the station areas in 2019 calculated from weighted average concentrations and monthly amounts of precipitation were 0.32–0.69 and 0.16–0.43 g/m² for sulfur and total nitrogen, respectively. For all EMEP stations the wet deposition fluxes of sulphur and nitrogen were significantly lower in winter than in summer. Comparison of annual deposition of sulfur and total nitrogen with precipitation in 2019 and the levels of critical loads for these elements allow us to conclude that wet sulfur flux is significantly lower than the values of critical loads for the Western and Central regions of Russia, and is at the same or slightly higher level (in some years) than the calculated criteria for the North-Western parts of the ETR. For nitrogen at the northern EMEP stations, total deposition is also close to critical values, which is likely an alarming signal taking into account the current trends in nitrogen flux with precipitation are increasing from year to year.

According to measurement results at EANET stations in 2019, the highest values of the content of almost all ions are typical for aerosols in the Primorsky territory, where a significant contribution of nitrogen-containing compounds is also observed. In the area of lake Baikal, lower values were maintained, and the content of almost all major ions in aerosols decreased by half. Concentrations of sulfur- and nitrogen-containing substances in the air at stations near the lake Baikal continues to decline at an average annual level compared to the period 2015-2017. At Primorskaya station the atmospheric content of sulfur- and nitrogen-containing substances (nitrates and ammonium ions) in aerosols was significantly lower in the 2017-2019 compared to the period of 2013-2015.

According to the results of the monitoring in 2011-2019, the contents of heavy metals and persistent organic pollutants in the soils are within the range of multi-year averages as well as in vegetative organs of woody and grass vegetation in the background monitoring areas. The concentrations of priority organic pollutants in soils characterize 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 concentrations of mercury, lead, cadmium, benz(a)pyrene and benzperylene in surface waters of the most regions of Russia corresponded to the intervals of their values observed in recent years.

Analysis of surface water quality by hydrochemical indicators showed that in 2019, compared to 2018, the water quality at water bodies with a high level of pollution changed a little. The number of cross sections with a high level of water pollution remained the same at water objects of the Russian Federation.

In general, based on the results of background observations on the chemical compound content in surface waters in the areas of EANET stations, there was no increase in the concentrations of basic ions (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+}) and acidity for the Komarovka river (Primorye) in the last year. For the Pereemnaya river, the levels of basic ions have generally remained stable over the past 9 years.

In the period from 2014 to 2019, the state of the observed ecosystems of rivers, lakes, and water reserves in Russia remained stable in terms of hydrobiological indicators, and there were no principal changes in the taxonomic composition and structure of communities, as well as for the gradation of the state of ecosystems.

In the Barents, Baltic, Kara, and East Siberian hydrographic regions, the ecosystems in all 9 background sections of the selected water bodies did not undergo major changes in 2013-2019, and variations in water quality were within the same class. The state of ecological well-being is typical for 10 background sections: the Lotta, Vitte and lower Chuna rivers (Lapland Biospheric Reserve) in the Barents hydrographic region, the Prioksko-Terrasny BR rivers in the Caspian hydrographic region, and the Jida river in the Baikal lake basin in the Kara sea hydrographic region, the Lena river (Ust-Lensky BR) and the Kopchik-Yurege river in the East Siberian region, and the Ivanovka river in the Pacific hydrographic region.

The content of priority pollutants in natural environment media 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.