

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 2020 г.

Под редакцией
профессора Г.М. Черногаевой

В Обзоре представлены обобщенные результаты фоновой мониторинга состояния природной среды на территории стран СНГ за 2020 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, 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2021 г.

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

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	12
1.2.1	Углекислый газ и метан	12
1.2.2	Общее содержание озона	15
1.2.3	Оптическая плотность и прозрачность атмосферы	21
1.2.4	Электрические характеристики приземного слоя атмосферы	25
1.3.	Химический состав атмосферных осадков	29
1.3.1	Загрязняющие вещества в атмосферных осадках	29
1.3.2	Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	31
1.4.	Загрязнение воздуха и осадков соединениями серы и азота по данным станций мониторинга ЕАНЕТ	38
1.5.	Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих веществ.	41
1.6.	Фоновый уровень выпадений серы и азота по данным о загрязнении снежного покрова в регионах Российской Федерации.	44
2.	ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ	48
2.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности по данным сети станций комплексного фонового мониторинга	48
2.2	Содержание загрязняющих веществ в почвах фоновых участков промышленных регионов по результатам наблюдательной сети Росгидромета	55
2.3	Результаты наблюдений за состоянием растительности в Центральном-Лесном биосферном заповеднике (подпрограмма «Растительность» международной совместной программы комплексного мониторинга Конвенции ЕЭК ООН	59
3.	ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ	63
3.1.	Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ	63
3.2.	Данные станций гидрохимических наблюдений	64
3.3	Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ	70
3.4.	Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям	77
4	СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ.	90
4.1.	Березинский биосферный заповедник (Республика Беларусь)	90
4.2.	СКФМ Боровое (Республика Казахстан)	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		96
Список сокращений		99
Список авторов		100
Conclusions		101

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

В представлении данных наблюдений и подготовке материалов к выпуску "Обзора фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2020 г." приняли участие:

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

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

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

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

Список авторов разделов текста Обзора представлен на стр.100.

ВВЕДЕНИЕ

Первый выпуск «Обзора 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 состояния окружающей природной среды на территории СНГ.

Настоящий выпуск продолжает тридцатилетнюю серию ежегодных публикаций о состоянии фоновый загрязнения на территориях, расположенных на значительном удалении от крупных урбанизированных и промышленных центров в границах бывшего СССР.

По состоянию на 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 состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2020 год использованы данные, полученные на сети станций трансграничного переноса загрязняющих воздух веществ (ЕМЕП), станциях мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ) и сети специализированных станций Глобальной службы атмосферы (ГСА) Всемирной метеорологической организации. Станции, осуществляющие фоновый наблюдения за состоянием природных сред, расположены на ООПТ федерального значения или их охранных зон, некоторые из ООПТ имеют международный статус Объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО (ОВПН). Состав сети фоновый мониторинга Российской Федерации в 2017 году приведен в таблице 1. На рис 1.1 показано размещение станций, осуществляющих фоновый мониторинг в России и странах СНГ. В настоящем Обзоре также представлены данные экспедиционных исследований, проводимых в рамках выполнения работ по расширению сети СКФМ.

Основной задачей сети КФМ является выявление антропогенного воздействия на фоновый состояние окружающей природной среды на региональном и глобальном уровнях. Вместе с тем, изменения последних десятилетий диктуют необходимость актуализации задач и деятельности системы КФМ, в том числе приведение её в соответствии с современными международ-

ными требованиями. Сеть станций КФМ, размещаемых на ООПТ федерального значения и имеющих международный статус, должна обеспечивать как национальные потребности в данных фонового мониторинга, так и выполнение международных обязательств Российской Федерации, в том числе в рамках Конвенции по трансграничному переносу загрязнений на большие расстояния Экономической комиссии ООН для Европы.

Интеграция Российской Федерации в программы международного сотрудничества в сфере охраны окружающей 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 2020 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 фонового загрязнения атмосферного воздуха и осадков выполнена по данным сети станций КФМ, ГСА, ЕМЕП, ЕАНЕТ (рис.1.1). Анализ результатов проводился для периодов наблюдений с октября по март (холодный период), с апреля по сентябрь (теплый период). Средние значения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе за месяц, сезон и год рассчитывались как среднегеометрические, в осадках - средневзвешенные.

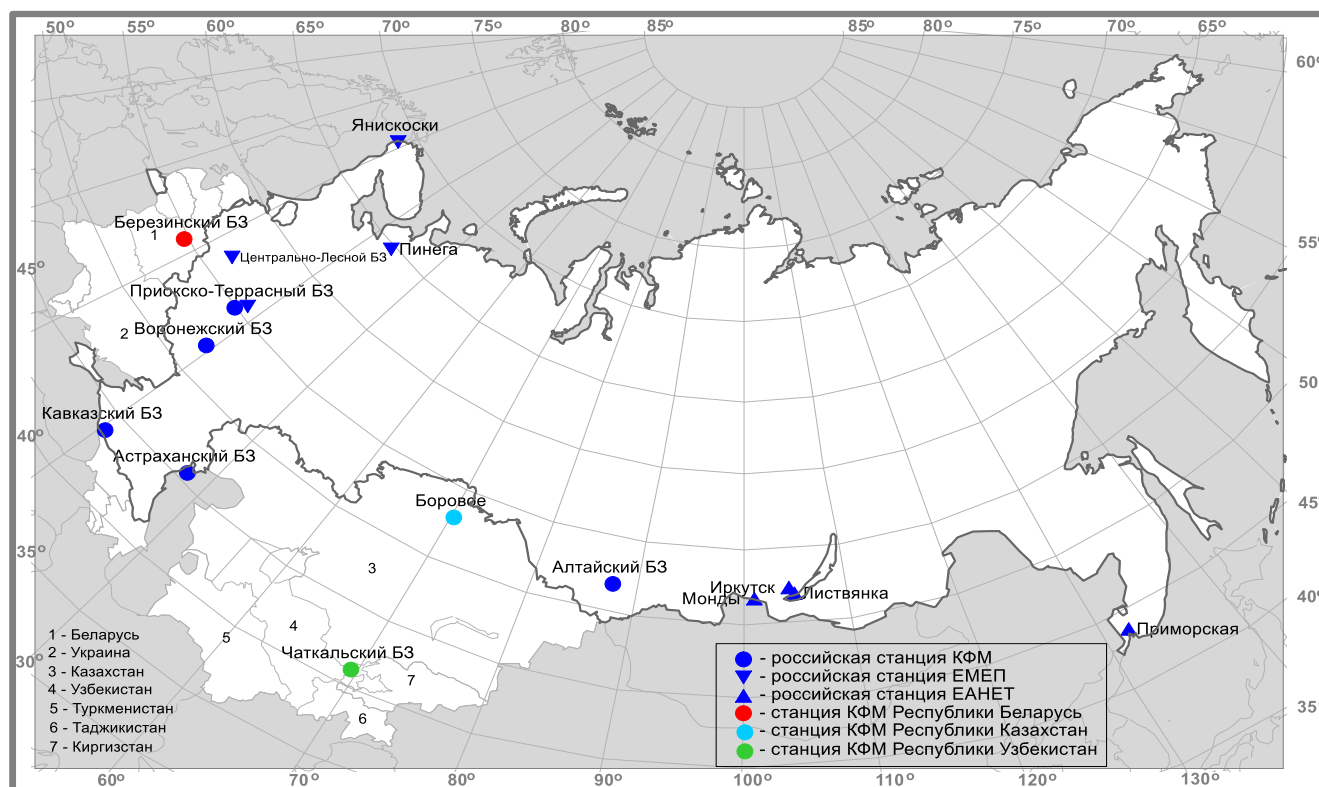


Рис. 1.1. Расположение станций фоновой мониторинга природной среды в СНГ

1.1. Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Оценка фоновое загрязнение атмосферного воздуха и осадков выполнена по данным сети станций комплексного фоновое мониторинга (СКФМ) и специализированных станций Глобальной службы атмосферы (ГСА ВМО). В 2020 г. наблюдения за фоновым загрязнением атмосферного воздуха проводились на четырех СКФМ, обеспечивая необходимый объем информации только для характеристики регионального фоновое загрязнение атмосферы в Центральные районах Европейской части России (ЕЧР). Для характеристики загрязнения воздуха Уральского региона использованы данные многолетних наблюдений за концентрациями диоксидов серы и азота на станции Мариинск (наблюдения ведутся не по программе комплексного фоновое мониторинга).

Анализ загрязнения атмосферного воздуха подготовлен с использованием осредненных значений концентраций, измеряемых на СКФМ веществ в воздухе за месяцы, сезоны и год, рассчитанных из рядов годового цикла наблюдений с октября 2019 г. по сентябрь 2020 г.

(геофизический год).

Тяжелые металлы. Среднегодовые концентрации свинца в воздухе фоновых районов ЕЧР составили 1,5 – 2,7 нг/м³; значимых изменений его содержания в атмосфере фоновых территорий по сравнению с 2019 г. не произошло (рис. 1.1.1).

Среднегодовые концентрации кадмия в атмосферном воздухе в центральных районах ЕЧР не превышали 0,09 нг/м³. На юге ЕЧР, в Астраханском БЗ продолжают регистрироваться повышенные уровни концентраций кадмия, что характерно для результатов наблюдений во всех средах на протяжении последних лет (табл. 1.1.1).

В отдельные дни содержание в воздухе свинца и кадмия находилось существенно выше среднегодовых значений, максимальные среднесуточные концентрации свинца - более 30 нг/м³ и кадмия - более 10 нг/м³, наблюдались в Воронежском и Астраханском БЗ соответственно.

Фоновое среднее содержание ртути в атмосферном воздухе, измерения которого проводится только в центральном районе ЕЧР, сохраняется ниже 5 нг/м³: в 2019-2020 геофизическом году среднегодовая концентрация ртути составила 1,36 нг/м³ (табл. 1.1.1).

Взвешенные частицы. В 2019-2020 гг. среднегодовые концентрации взвешенных частиц в воздухе на ЕЧР изменялись в пределах 12–24 мкг/м³, что соответствует уровню значений последних 10 лет (табл. 1.1.1, рис. 1.1.1). Эпизодическое повышение концентраций взвешенных частиц наблюдалось в теплый период года: отдельные максимальные среднесуточные концентрации достигали 527 мкг/м³ в Астраханском БЗ. Сезонные изменения содержания взвешенных частиц в атмосфере имеют ярко выраженный максимум в летний период, что обусловлено влиянием природных факторов.

Диоксид серы. В 2019-2020 гг. среднегодовые фоновые концентрации диоксида серы на станциях ЕЧР и Урала сохранились на низком уровне – около 0,02–0,3 мкг/м³ (рис. 1.1.2). В холодный период года наблюдались более высокие концентрации диоксида серы, увеличиваясь в отдельные сутки до 2,8 мкг/м³ в центре ЕЧР (табл. 1.1.1). В долгосрочной динамике можно отметить стабилизацию уровней концентраций после отмечавшегося их уменьшения в течение 10 предыдущих лет. Сезонные изменения содержания диоксида серы имеют ярко выраженный максимум в холодный период года, что связано с отопительным сезоном.

Диоксид азота. В 2019-2020 гг. среднегодовые фоновые концентрации диоксида азота в воздухе на ЕЧР сохранились на уровне прошлых лет, варьируя от 1,3 до 4,05 мкг/м³ (рис. 1.1.2). В Уральском регионе (Мариинск) уровень среднегодовых концентраций составил около 11 мкг/м³, что существенно выше, чем на ЕЧР, но существенно ниже ПДК. Сезонные изменения фоновых концентраций диоксида азота ясно выражены: в холодный период наблюдаются максимальные значения, и повышается повторяемость среднесуточных высоких концентраций (табл. 1.1.1).

Сульфаты. В 2019-2020 гг. среднегодовые фоновые концентрации сульфатов в центре ЕЧР составили около 1,1 мкг/м³, при этом значения меньше 3 мкг/м³ были зарегистрированы в 95% измерений. В южных районах ЕЧР среднегодовые концентрации были несколько ниже, чем в центре ЕЧР - около 0,65 мкг/м³ (рис. 2.14). В целом, относительно повышенные концентрации сульфатов в центре ЕЧР характерны для холодного периода года, в южных районах – для теплого периода.

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

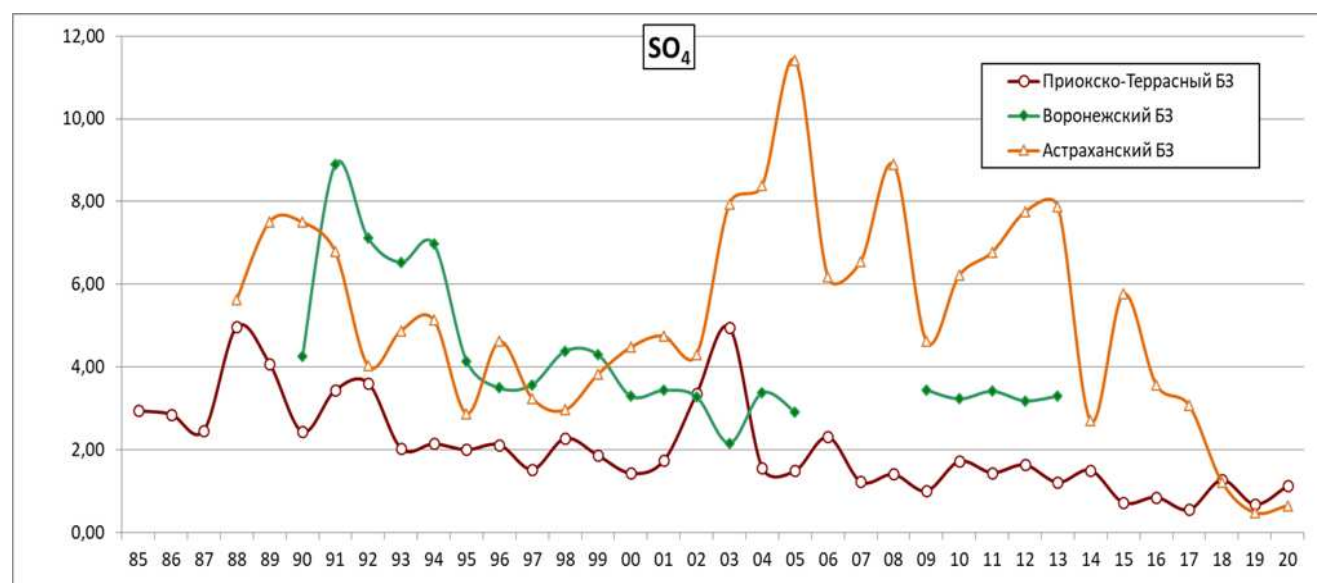
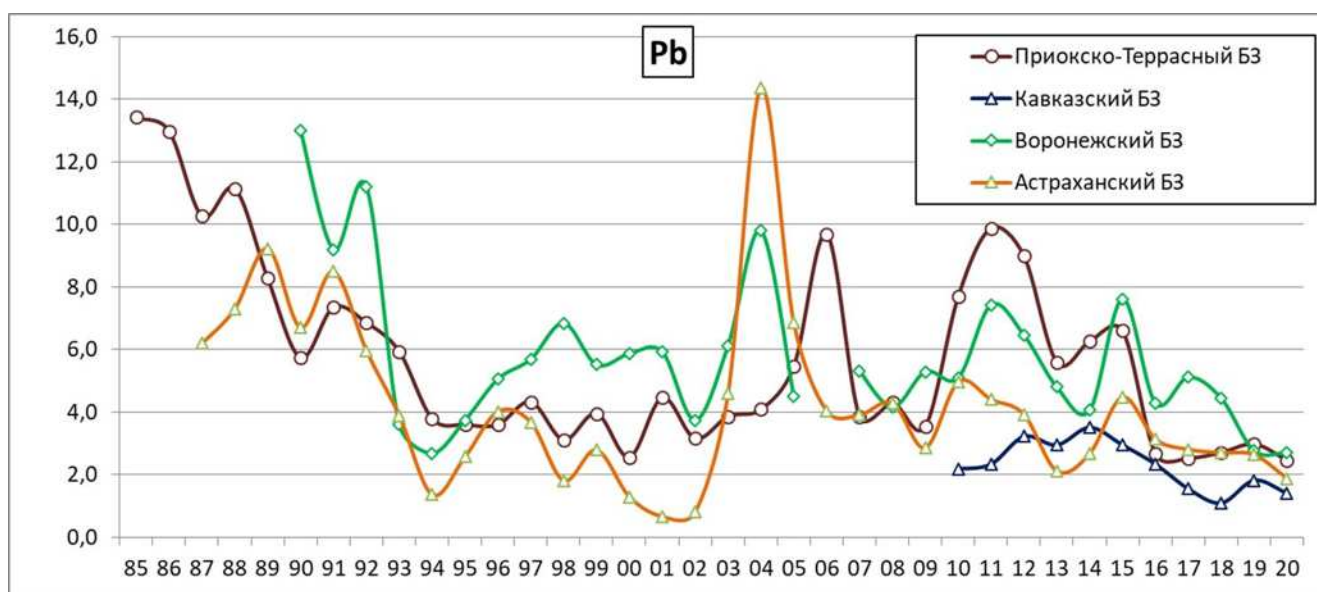


Рис. 1.1.1. Многолетнее изменение среднегодового содержания свинца (нг/м^3), взвешенных частиц и сульфатов (мкг/м^3)

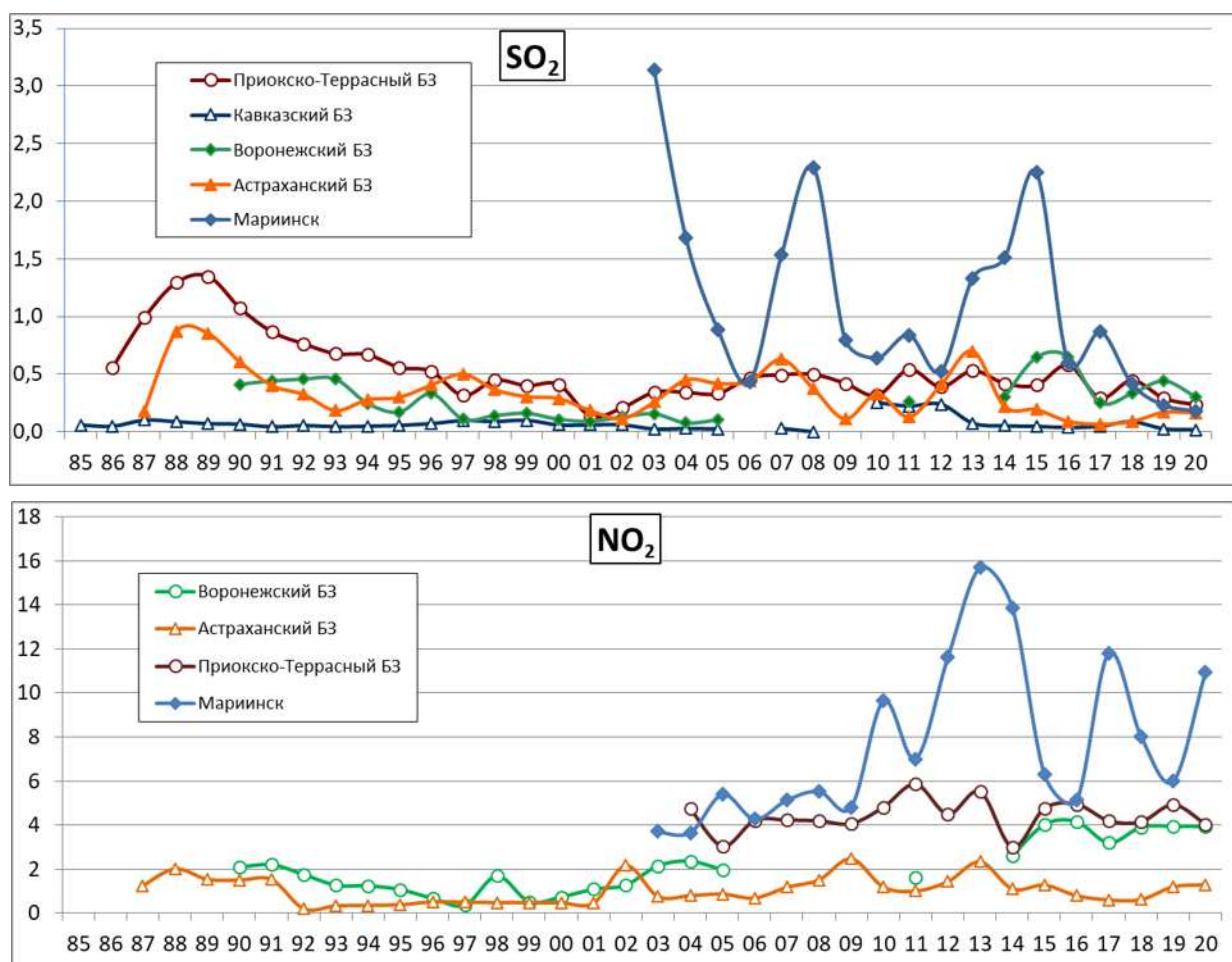


Рис. 1.1.2. Изменение фоновое содержания диоксида серы и диоксида азота в атмосферном воздухе фоновых районов (мкг/м³) за многолетний период (геофизические года)

Таблица 1.1.1. Результаты наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха на станциях комплексного фоновое мониторинга в 2019-2020 гг. (числитель – среднегодовое значение, знаменатель – интервал изменений суточных концентраций)

Загрязняющие вещества	Приокско-Тerrasный БЗ	Воронежский БЗ	Астраханский БЗ	Кавказский БЗ
1	2	3	4	5
Pb, нг/м³	<u>2,5</u> 0,1-8,4	<u>2,7</u> 0,3-33,7	<u>1,8</u> 0,09-11,1	<u>1,5</u> 0,05-14,2
Cd, нг/м³	<u>0,09</u> 0,014-0,60	<u>0,08</u> 0,003-1,5	<u>0,57</u> 0,04-11,0	<u>0,06</u> 0,002-5,0
Hg, нг/м³	<u>1,36</u> 0,062-12,0			
SO ₂ , мкг/м³	<u>0,23</u> 0,1-2,8	<u>0,31</u> 0,01-1,78	<u>0,17</u> 0,02-1,11	<u>0,018</u> 0,01-0,06
NO ₂ , мкг/м³	<u>4,05</u> 0,3-19,1	<u>3,94</u> 0,92-14,14	<u>1,30</u> 0,14-4,95	
SO ₄ , мкг/м³	<u>1,12</u> 0,03-40,4		<u>0,65</u> 0,10-44,9	
Взвешенные частицы, мкг/м³	<u>23,6</u> 2,0-186,0	<u>19,7</u> 6,0-40,0	<u>17,6</u> 0,1-526,6	<u>12,3</u> 2,1-38,4

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 12 лет приведены в таблице 1.2.1.1. Изменения концентрации парниковых газов для рассматриваемых станций от года к году показаны на рис. 1.2.1.1 в сравнении с данными станции Барроу.

Уровень концентрации CO₂ в атмосфере северных широт достиг в 2020 г. очередного максимума. Среднегодовое значение на фоновых станциях превысило 415 млн⁻¹, а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превзошли значение 420 млн⁻¹. Уровень концентрации и амплитуда сезонного хода на российских станциях Териберка и Тикси близки к данным станции Барроу.

Вместе с тем, скорость изменения концентрации CO₂ в 2020 г. снизилась и составила 1,7 млн⁻¹/год и 2,2 млн⁻¹/год для станций Териберка и Тикси соответственно, что является минимальными значениями за последние 5 лет наблюдений. Изменение CO₂ за 2020 г. меньше среднего за десятилетний период для этих станций (2,4 млн⁻¹/год и 2,5 млн⁻¹/год для станций Териберка и Тикси соответственно), а также среднеглобального значения за период с 2009 г. по 2019 г., составившего 2,37 млн⁻¹/год (Бюллетень ВМО по парниковым газам № 16 от 23 ноября 2020 г.).

Целый ряд работ посвящен исследованию влияния ограничений, связанных с COVID-19, на содержание CO₂ в атмосфере. Их результаты обобщены в «Бюллетене ВМО по парниковым газам № 16 от 23 ноября 2020 г.» Непосредственные измерения потоков CO₂ в промышленных районах на территории Европы и инвентаризационные оценки свидетельствуют о сокращении выбросов CO₂ в атмосферу. Предварительные оценки показывают, что сокращение ежегодных глобальных выбросов (от 4,2% до 7,5%) могут приводить к замедлению темпов роста CO₂ на

величину (0,08-0,23 млн⁻¹/год), не превышающую пределы естественной межгодовой изменчивости в 1 млн⁻¹. Это означает, что в краткосрочной перспективе воздействие ограничений, связанных с COVID-19, трудно отличить от естественной изменчивости.

Таблица 1.2.1.1. Среднегодовые значения и межгодовой рост (Δ) концентрации 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	1961,8	11,4	413,9	2,8	1983,7	23,3	414,3	3,0
2020	1980,4	18,6	415,6	1,7	1993,6	9,9	416,5	2,2

Концентрация метана также продолжает увеличиваться. 2020 г. характеризуется значительным возрастанием CH₄ на станции Териберка (18,6 млрд⁻¹) и Тикси (9,9 млрд⁻¹). Однако указанные значения не выходят за пределы вариаций межгодового роста на этих станциях за последние 5 лет наблюдений.

Обращает на себя внимание трансформация от года к году сезонного хода метана, особенно ярко проявляющаяся на станции Тикси (рис. 1.2.1.2). С 2018 г. появляются повышенные концентрации метана в августе, когда ожидается максимальная природная эмиссия метана. В 2019 г. такие значения наблюдались в августе и сентябре, а в 2020 г. увеличение CH₄ началось с июня и продолжилось до конца года. Высокие значения концентрации метана во второй половине 2020 г. были зарегистрированы также на станции Териберка.

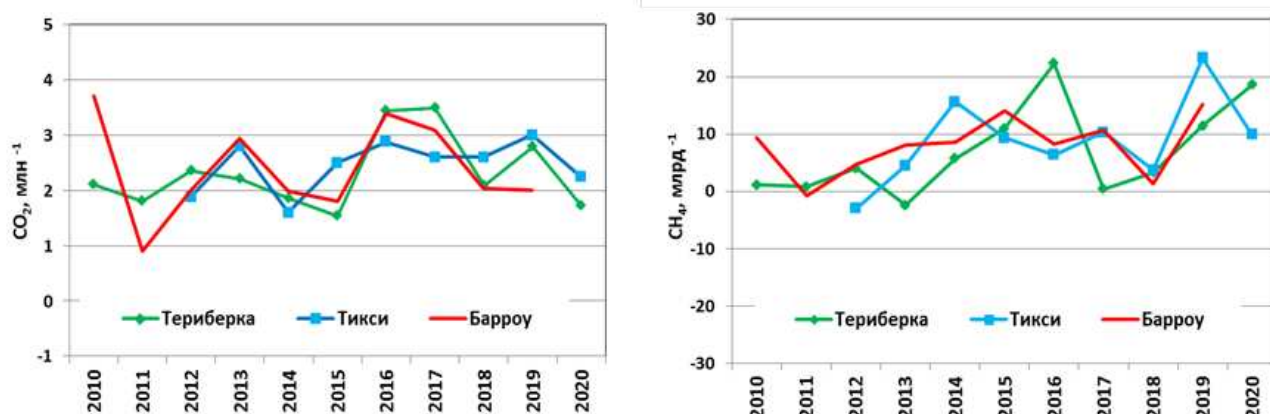


Рис. 1.2.1.1. Межгодовые изменения концентрации CO₂ и CH₄

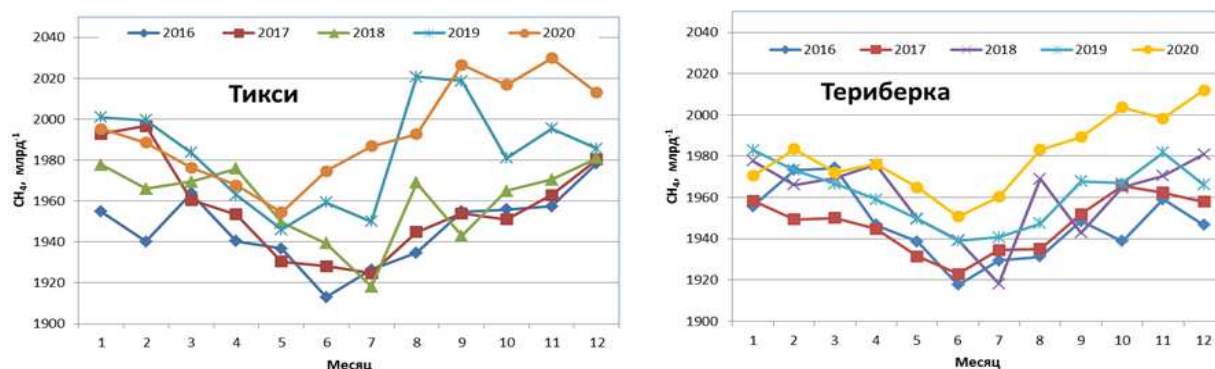


Рис. 1.2.1.2. Сезонный ход концентрации CH_4 на станциях Тикси и Териберка

Для станций, расположенных в окрестностях крупномасштабных источников, средняя за многолетний период скорость роста концентрации парниковых газов не сильно отличается от глобального тренда. Так, для десятилетнего периода (2009-2019 гг.) концентрация CO_2 на станции Новый Порт увеличивалась со скоростью $2,2 \text{ млн}^{-1}/\text{год}$ при значении глобального тренда за этот же период равного $2,4 \text{ млн}^{-1}$. Аналогичные примеры есть для станции Обнинск («Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2019 г.»).

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

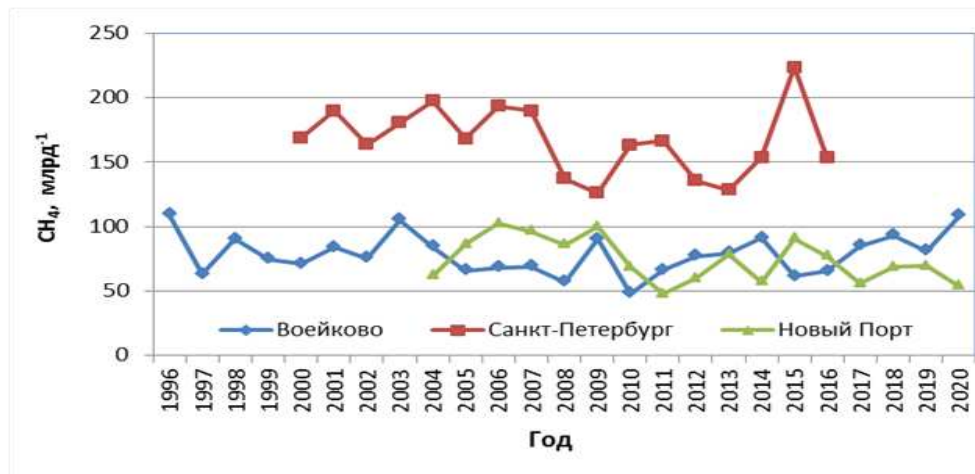


Рис. 1.2.1.3. Среднегодовое превышение концентрации CH_4 над фоновым уровнем

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 $150\text{--}180 \text{ млрд}^{-1}$ и 10 млн^{-1} соответственно, наиболее вероятно обусловлены снижением высоты слоя перемешивания атмосферы и поступлением парниковых газов от природных и антропогенных источников, включая месторождения природного газа и нефти в Западной Сибири.

Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем в 2020 г. на станциях Новый порт и Воейково не выходит за пределы вариаций, наблюдаемых за многолетний пе-

риод.

Таблица 1.2.1.2. Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем

Станция	Новый Порт	Воейково	Санкт-Петербург
Период измерений	2004-2020	1996-2020	2000-2016
CH ₄ , млрд ⁻¹	76 ±17	77±15	167±27
CH ₄ , %	4,0	4,1	8,8
CO ₂ , млн ⁻¹	4,5±1,2		
CO ₂ , %	1,1		

1.2.2. Общее содержание озона.

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

Проведен анализ среднемесячных значений ОСО путем сравнения со средними многолетними значениями, за которые принимались усредненные данные измерений «NIMBUS-7»/TOMS за 1978-1988 гг.

Отклонения среднемесячных значений ОСО над территорией России от нормы находятся в интервале от -40% до +14%.

Над территорией России наибольший дефицит среднемесячного значения ОСО (-40%) в 2020 г. был зарегистрирован в апреле (рис. 1.2.2.1) над северными районами Якутии, Красноярского края, Тюменской области и над севером Европейской части России, а также над островами Северного Ледовитого океана.

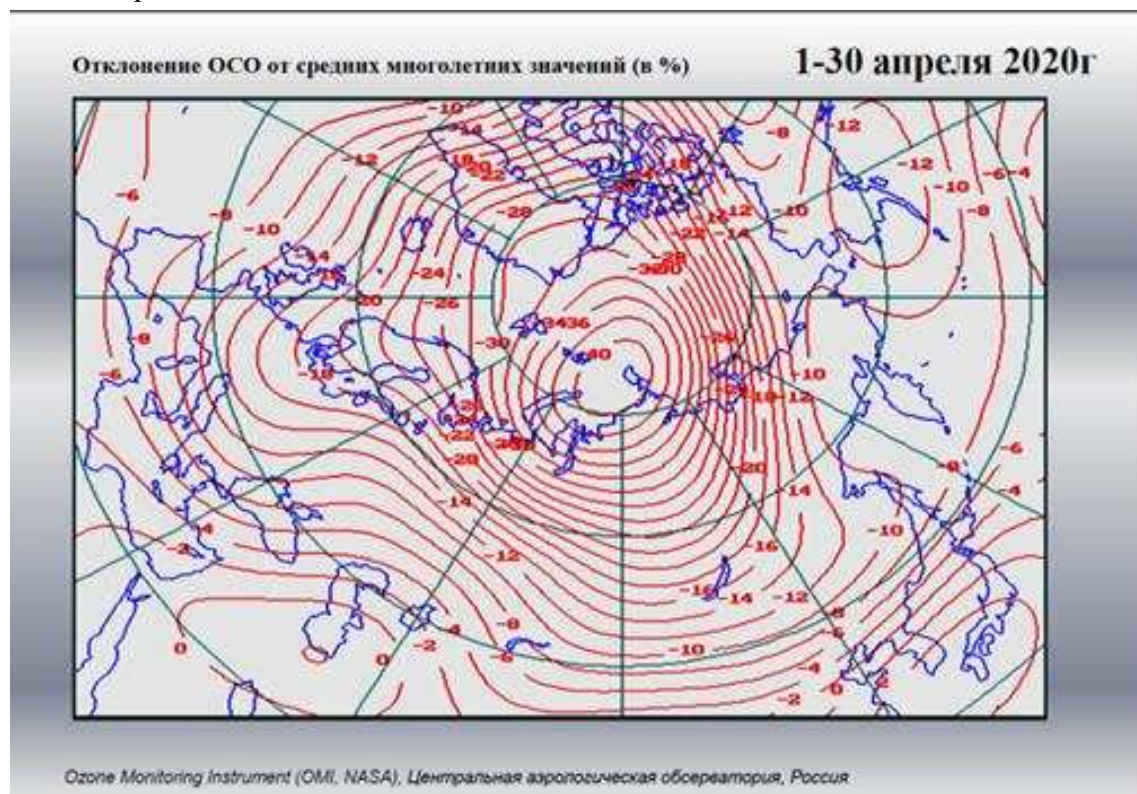


Рис. 1.2.2.1. Поле отклонений (%) общего содержания озона в апреле 2020 г. от среднемесячных многолетних значений (1978-1988 гг.)

Дефицит среднемесячного значения ОСО в марте и апреле не вызвал роста УФ радиации до опасных для населения значений из-за низкой высоты Солнца в северных регионах в это время года.

Особенности зимнего сезона 2019-2020 гг.

Разрушение озонового слоя весной 2020 г. в стратосфере Арктики стало близким к рекордному, зафиксированному весной 2011 г. Причиной столь сильного разрушения озонового слоя стали особые динамические условия – заниженное распространение волновой активности из тропосферы, особенно в феврале-марте 2020 г., а также отражение волновой активности в верхней стратосфере, в результате чего сильный, изолированный стратосферный полярный вихрь, разрушившийся в конце весны, способствовал в условиях низких температур и образовавшегося значительного объема полярных стратосферных облаков значительному разрушению озонового слоя. Химическое разрушения озона в стратосферном полярном вихре, рассчитанное с использованием данных наблюдений вертикального распределения озона, достигло к концу марта 2020 г. значения 157 ± 22 е.Д, что повторило рекорд зимы 2011 г. (153 ± 13 е.Д) и превысило значения зимы 2015-2016 гг. (также с сильным разрушением озонового слоя) 135 ± 40 е.Д.

В результате проведенного анализа полей отклонений ОСО от средних многолетних значений над территорией РФ в 2020 г. повышенные значения ОСО наблюдались в сентябре-декабре 2020 г. Максимальные значения ОСО наблюдались над Якутией во второй половине декабря и приходились на область близкую к границе измерений. 25 декабря превышение нормы составило 44% (580 е.Д).

Пониженные значения ОСО были зафиксированы:

Январь. В начале января над Красноярским краем до -28% (до 280 е.Д) и в конце января над севером Европейской части России на -26% – -34% (до 220 е.Д);

Февраль. В течение всего месяца на -38% – -46% (до 250 е.Д) над Красноярским краем, Якутией, Чукотским АО и Магаданской областью;

Март. В течение всего месяца над северными районами Красноярского края и Дальнего Востока. Отклонения от средних многолетних значений в отдельные дни достигали до -52% (до 230 е.Д);

Апрель. В течение всего месяца над северными районами РФ и над островами Северного ледовитого океана -50% (240 е.Д), в Забайкальском крае, Бурятии, Иркутской области, в центральных районах Западной Сибири, в центральных и южных районах Красноярского края и юго-западных районах Якутии. Ежесуточные отклонения от средних многолетних колебались в интервале -20% – -46%;

Май. 01-11.05 над Дальневосточным регионом на -20% – -30% (до 300 е.Д), в течение всего месяца над Сибирью, 23.05 отклонение до -28% (305 е.Д);

Июнь. Кратковременные незначительные изменения над отдельными районами РФ;

Июль. 07-10.07 над Европейским Севером до -19% (до 270 е.Д), 20-27.07 над северо-восточными районами Якутии, Магаданской областью, западными областями Чукотки, причем 24.07 до -20% (до 255 е.Д);

Август. Над территорией РФ сильно выраженных отклонений от средних многолетних значений не наблюдалось. Можно отметить пониженные значения ОСО 08-10.08 на -14% – -17% (до 275 е.Д) над Ямало-Ненецким и Ханты-Мансийским АО;

Сентябрь. В первой половине месяца на - 18% – - 24% (до 250 е.Д) над Хабаровским и Приморским краями, южными районами Якутии, Амурской областью и близлежащими территориями;

Октябрь. 03-08.10 над северными районами европейской части РФ, затем над центральными и южными районами, над Уралом и 13.10 в районах западной и восточной Сибири до -10% – -26% (10 октября -26%, 220 е.Д);

Ноябрь. В отдельных районах Европейской части РФ, Сибири и дальнего Востока. 02-04.11 над Чукотским АО, Камчатским краем и Магаданской областью на -18% – -24% (до 285 е.Д). Над южными областями Красноярского края 05.11 до -20% (до 250 е.Д), 08-11.11 до -28% (до 270 е.Д) над Иркутской областью, Республикой Бурятия, Забайкальским краем и Амурской областью, южными районами Якутии, 15-20.11 до -30% (до 270 е.Д) над Хабаровским и Приморским краями, Амурской и Сахалинской областями;

Декабрь. 01-06.12 над Бурятией, Забайкальским и Хабаровским краями и Амурской областью, 03.12 - до -22% (270 е.Д). 08-12.12 до -28% (230 е.Д) над Европейским Севером, а затем сместилась в Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский АО. 21-25.12 до -20% – -24% (до 250 е.Д) над Европейской частью РФ, Уралом и западными районами Западно-Сибирского региона. 29-31.12 над Архангельской областью, Волго-Вятским районом и Поволжьем до -20% – -24% (до 260 е.Д).

Особенности состояния озонового слоя над регионами РФ

Измерения ОСО на территории РФ

Анализ полученных результатов измерений ОСО на озонметрических станциях России в 2020 г., так же, как и в предыдущие годы, был произведен на основе разделения поля ОСО над территорией РФ на регионы со сравнительно однородным содержанием озона: Север Европейской части России (Север ЕчР), Юг Европейской части России (ЮГ ЕчР), Западная Сибирь (ЗС), Восточная Сибирь (ВС) и Дальний Восток (ДВ).

Использование на сети фильтровых озонметров М-124 с единой методикой измерений, постоянный контроль и отбор достоверной информации позволяют получать данные ОСО с высокой степенью надежности. 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 более 45 лет. Многолетние ряды наблюдений отчетливо проявили существенные и преимущественно меридиональные различия сезонного хода ОСО на протяженной территории РФ. Полученные ряды наблюдений позволили рассчитать климатические нормы, за которые приняты средние многолетние значения ОСО за 1973–2002 гг. для регионов РФ (табл. 1.2.2.1).

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 1973–2020 гг. представлены на рис. 1.2.2.2. Весь 45-летний ряд значений ОСО может быть разделен на три периода, для которых тренд межгодовых изменений ОСО был различен:

– 1973–1993 гг. – значительное уменьшение ОСО (- 1,5 е.Д./год);
– 1993–1999 гг. – значительный рост ОСО (более 3,0 е.Д./год);
– 1996–2020 гг. – существенные межгодовые колебания при незначительном общем тренде. Среднее значение ОСО (348,3 е.Д.) несколько ниже нормы, общее падение ОСО (- 0,3 е.Д./год).

В 1993 г. наблюдалась минимальная толщина озонового слоя.

Таблица 1.2.2.1. Общее содержание озона в различных регионах России в 2020 г., норма** и отклонения от нормы (%)

Меся- цы/ Реги- оны	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Общее содержание озона в 2020 г., е.Д.*													
Сев. ЕЧР	323	360	379	327	367	333	318	306	306	287	304	281	324
Юг ЕЧР	350	368	372	354	343	325	312	309	283	268	293	291	323
ЗС	357	363	378	323	348	347	314	296	299	297	290	315	327
ВС	378	345	372	346	348	347	314	301	293	326	299	371	337
ДВ	431	434	417	397	371	353	336	317	297	333	331	439	371
Отклонения ОСО в 2020 г. от нормы, %													
Сев. ЕЧР	-5	-5	-3,0	-17,9	-3,2	-5,2	-4,1	-3,0	1,7	-0,7	6,0	-9,8	-4,1
Юг ЕЧР	1,0	-1,1	-2,0	-6,2	-6,3	-7,3	-6,0	-3,6	-8,1	-9,6	-2,5	-8,7	-5,0
ЗС	-0,8	-5,2	-4	-17,5	-8,8	-1,8	-5,9	-7,9	-3,4	-0,1	-3,2	-2,3	-5,1
ВС	-3	-17	-13	-19,3	-13,3	-3,1	-4,0	-4,6	-6,7	3,9	-7,5	8,9	-6,5
ДВ	1	-3	-8	-8	-7	-1,8	1,7	1,6	-6,4	0,6	-8,7	11,5	-2,2
Норма, е.Д. и среднеквадратические отклонения, %													
Север ЕЧР	339 8.0	379 8.7	391 7.6	398 6.3	379 3.7	352 3.4	332 3.3	315 3.5	301 3.3	289 3.5	287 6.3	312 7.1	339 4.1
Юг ЕЧР	346 5.5	372 5.9	380 5.5	378 5.3	366 3.8	350 3.4	333 3.0	321 3.1	308 2.9	297 3.4	300 3.7	319 4.7	339 2.9
ЗС	360 5.3	383 6.3	393 7.3	392 6.6	381 4.2	354 3.1	334 3.0	321 3.1	309 3.2	298 4.4	300 4.7	323 5.4	346 3.2
ВС	388 6.1	415 7.0	429 7.9	428 5.1	402 5.5	358 3.6	327 3.4	316 3.2	314 3.5	313 5.1	323 5.0	340 7.4	363 4.1
ДВ	428 4.4	447 4.5	453 5.1	431 5.1	398 6.7	360 3.3	330 3.3	312 3.5	317 4.4	331 4.8	363 6.1	393 5.4	380 2.8

Примечание: * 1 е.Д. = 0.001 атм.-см; **норма - средние многолетние значения и средние квадратичные отклонения (нижняя строка) за 1973–2002 гг.

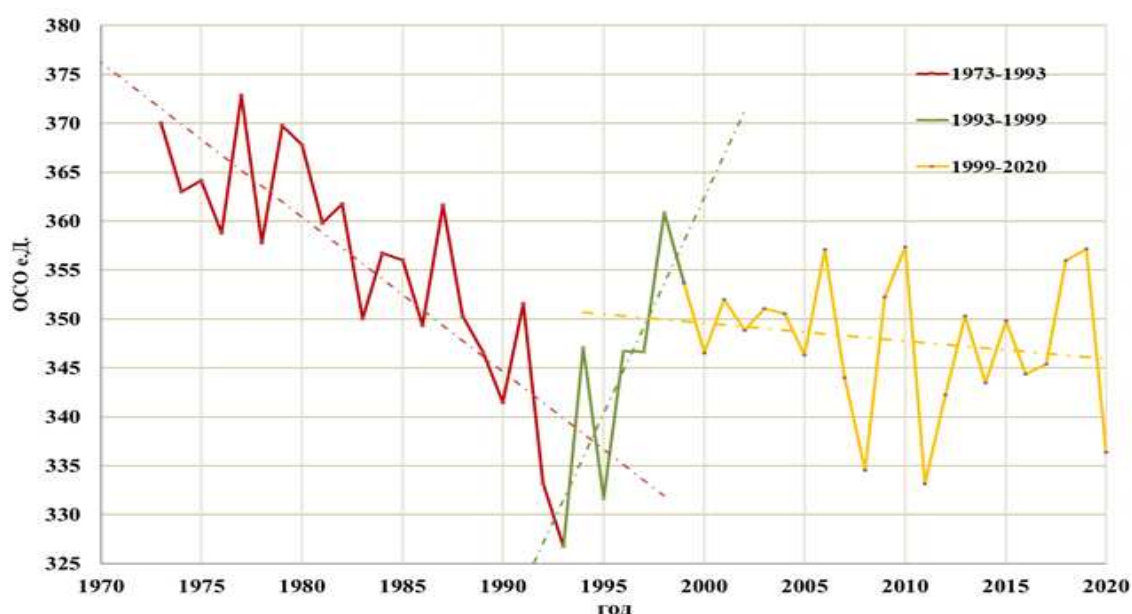


Рис. 1.2.2.2. Среднегодовые значения ОСО над территорией РФ в период 1973–2020 гг. Вариации поля ОСО над регионами РФ в 2020 г.

В течение 1973–2020 гг. толщина озонового слоя ниже нормы (353 е.Д.) более чем на 5% наблюдалась в следующие годы: 1992 г. (-5,4%), 1993 г. (-7,1%), 1995 г. (-5,9%), 2008 г. (-5,4%), 2011 г. (-5,8%), 2015 г. (-5,6%).

В 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 озонометрической сетью.

Результаты расчета среднемесячных значений ОСО над регионами РФ в 2020 г. и их отклонения от нормы приведены в табл. 1.2.2.1 и представлены на рис.1.2.2.3.

На Севере ЕЧР среднегодовой уровень ОСО в 2020 г. был существенно ниже нормы (-4,1%). Отрицательные значения отклонений со значительными колебаниями по амплитуде наблюдаются в течение почти всего года. Среднемесячные значения (кроме апреля) оказались близки к нормам. Среднее значение ОСО в апреле было ниже нормы на 18%. В период с середины мая по октябрь поле озона было стандартно сглаженным, а отклонения от нормы не превышали значения его стандартного распределения. Осенью в регионе чаще наблюдались значения несколько выше нормы (около +10% в ежедневных данных). Средние за месяц значения были близки к норме. Ситуация изменилась во второй половине декабря, когда положительные отклонения сменились отрицательной аномалией (от -15 до -20%). Среднее за месяц значение ОСО в декабре было ниже нормы, и отклонение составило -9,8%.

На Юге ЕТР среднегодовой уровень ОСО в 2020 г. был ниже нормы (-5,0%). Значительных аномалий в поле озона не наблюдалось. В течение года регион неоднократно оказывался в зоне умеренных положительных аномалий, но в целом среднемесячные значения по региону были устойчиво ниже нормы. Максимальные отклонения от нормы наблюдались в октябре и декабре, содержание озона было ниже нормы на 9,6% и 8,7% соответственно.

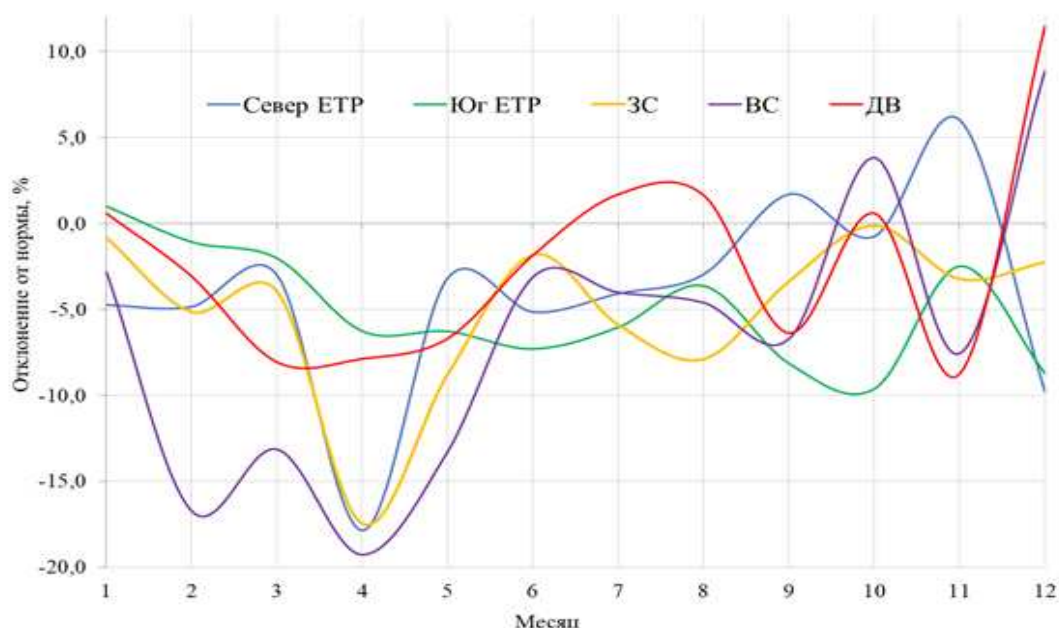


Рис. 1.2.2.3. Отклонения среднемесячных значений ОСО от норм по регионам РФ в 2020 г. (Север ЕЧР – Север Европейской части России, Юг ЕЧР – Юг Европейской части России, ЗС – Западная Сибирь, ВС – Восточная Сибирь, ДВ – Дальний восток)

Над Западной Сибирью, среднегодовой уровень ОСО в 2020 г. был ниже нормы (-5,1 %). На протяжении всего года значения ОСО были понижены. В первые месяцы года на отдельных станциях сохранялась отрицательная аномалия с отклонениями (до -30%) в ежедневных значениях. Но значения, осредненные по региону за месяц, были ниже нормы не более чем на 5%. Наибольшее отрицательное отклонение от нормы за год было зафиксировано в апреле и составило -17,5%. В период с мая по август отклонения от норм не превышали статистически ожидаемых значений. С сентября по декабрь значения ОСО менялись волнообразно.

Над Восточной Сибирью среднее за год содержание озона было существенно ниже нормы (-6,5 %). Для первой половины года (январь-май) были характерны аномально низкие значения озона (до -45 %). С февраля по май отклонения среднемесячных величин превышали 10%. Наибольшие отклонения наблюдались в феврале и апреле (-17% и -19% соответственно). Во второй половине года отклонения от норм были не столь значительны, как в первой, но с сентября по декабрь наблюдались резкие скачки осредненных значений от месяца к месяцу со сменой знака отклонения. Положительные отклонения выявлены в октябре (+3,9 %) и декабре (+8,9 %).

На Дальнем Востоке поле ОСО в течение года было изменчивым, характеризовалось, преимущественно, пониженными значениями, но до ноября не наблюдалось столь значительных, как в остальных регионах, отклонений от нормы. Наиболее весомые отрицательные отклонения имели место в марте (-8%), апреле (-8%), мае (-7%) и ноябре (-8,7%). В октябре начинается традиционное для этого периода накопление озона, и значения приближаются к норме, но уже в ноябре крупномасштабное образование с аномально низким озоном, занимающее Арктику и Восточную Сибирь, расширяется на Дальний Восток, и возникает отрицательная аномалия (-8,7%). В декабре, благодаря преимущественному расположению арктического антициклона и его величине, среднемесячное значение ОСО оказалось значительно выше нормы (+11,5%). Среднее по региону за год значение ОСО было несколько ниже нормы (-2,2%).

Над всей территорией РФ в 2020 г. средняя за год толщина озонового слоя составила 336 е.Д. и оказалась ниже нормы (353 е.Д.) на -4,6%.

Поле ОСО и особенности циркуляции 2020 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 (рис. 1.2.2.4).

Распределение ОСО над территорией РФ и его вариации в 2020 году имели ряд серьезных особенностей. Циркумполярный вихрь с характерными низкими значениями ОСО, сформировавшийся еще в 2019 г., был аномально устойчив и оказал сильное влияние на озоносферу. Непосредственное его влияние на поле ОСО сказывалось вплоть до середины мая, а заложенный этим влиянием серьезный дефицит озона сохранялся до конца года и провоцировал возникновение более поздних аномалий.

В целом атмосферную циркуляцию в 2020 г. характеризует череда серьезных аномалий, оказавших заметное влияние на состояние атмосферы над территорией РФ и непосредственно

на поле ОСО. Дефицит атмосферного озона был логичным следствием аномалий циркуляции в начале года, но есть вероятность, что часть более поздних аномалий в циркуляции усугубилась именно благодаря этому дефициту.

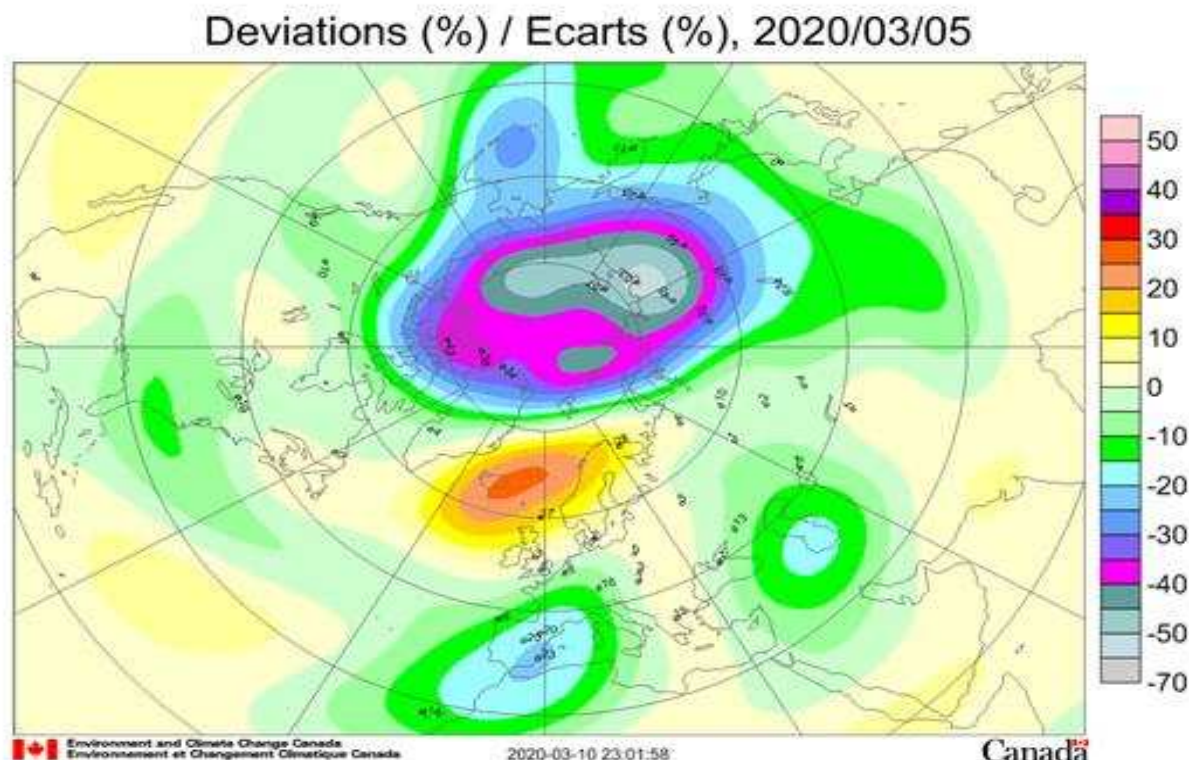


Рис. 1.2.2.4. Поле ОСО над Северным полушарием 05.03.2020 г. по данным канадского центра по окружающей среде и изменениям климата <https://exp-studies.tor.ec.gc.ca>. В цветовой шкале представлены спутниковые данные. В виде цифр приведены значения, полученные наземной аппаратурой

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/м^2 , приведенная к среднему расстоянию от Земли до Солнца и оптической массе атмосферы $m = 2$; S_0 – величина потока радиации на верхней границе атмосферы, P_2 – коэффициент интегральной прозрачности атмосферы при $m = 2$.

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

с тремя собственно региональными фоновыми станциями в трех близлежащих городах по аналогичной программе работают городские станции с целью установления разницы в уровне замутнения атмосферы. В таблице парные к соответствующим фоновым станциям города расположены на строку ниже и отмечены звездочками.

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

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

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 2020 г. значения P_2 и ОПА для региональных станций фонового мониторинга и трех парных им городов 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 2020 г.

Станция	ОПА $\pm\sigma$	$P_2\pm\sigma$	Станция	ОПА $\pm\sigma$	$P_2\pm\sigma$
Туруханск	0,242 $\pm$ 0,044	0,786 $\pm$ 0,033	Курган*	0,279 $\pm$ 0,042	0,758 $\pm$ 0,031
Усть-Вымь	0,264 $\pm$ 0,040	0,768 $\pm$ 0,030	Хужир	0,236 $\pm$ 0,038	0,790 $\pm$ 0,029
Сыктывкар*	0,269 $\pm$ 0,032	0,765 $\pm$ 0,024	Иркутск*	0,256 $\pm$ 0,032	0,776 $\pm$ 0,040
Воейково	0,257 $\pm$ 0,037	0,774 $\pm$ 0,028	Шаджатмаз	0,194 $\pm$ 0,033	0,824 $\pm$ 0,027
Памятное	0,246 $\pm$ 0,042	0,782 $\pm$ 0,032	о-в Диксон	0,227 $\pm$ 0,011	0,797 $\pm$ 0,008

В 2020 г. по сравнению с предыдущим годом на семи станциях из десяти оптическая плотность атмосферы повысилась. Максимальное повышение ОПА было зафиксировано на станции Туруханск (48%) за счет аномально высокого уровня оптического замутнением атмосферы в августе, обусловленного влиянием лесных пожаров и повлекшего за собой увеличение среднегодового значения ОПА. На станции Иркутск ОПА не изменилась и только на двух станциях, Усть-Вымь и о-в Диксон, ОПА снизилась. Наибольшее снижение ОПА было зафиксировано на о-ве Диксон, -63,5%.

Сравнение осредненных за 2020 г. значений ОПА с 30-летней нормой ОПА приведено на рис. 1.2.3.1.

За нормы ОПА принимались средние значения ОПА за период с 1979 по 2012 гг. Из этого периода были изъяты 1983–1984 и 1992–1993 гг., когда наиболее сильно проявлялось влияние вулканического аэрозоля после извержений вулканов Эль-Чичон (апрель 1982 г.) и Пинатубо и Хадсон (июнь и август 1991 г.). Фактический период наблюдений, по которому рассчитывались нормы, составил 30 лет.

Как видно из рис. 1.2.3.1 в 2020 г. положительные отклонения ОПА от 30-летней нормы наблюдались на станциях Туруханск, Усть-Вымь, Сыктывкар* и Шаджатмаз. На остальных станциях отклонения от нормы отрицательны. Однако максимальные отклонения от нормы не

столь велики по абсолютной величине и практически не превышают $\pm 6\%$.

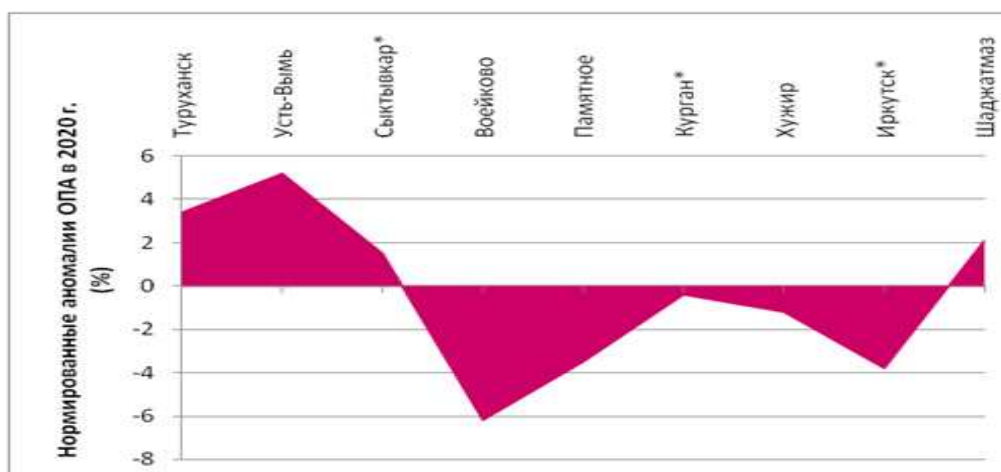


Рис. 1.2.3.1. Нормированные аномалии ОПА (%) в 2020 г. относительно многолетней нормы

На рис. 1.2.3.2 показаны внутригодовые изменения среднемесячных значений ОПА в 2020 г. на станциях фонового мониторинга.

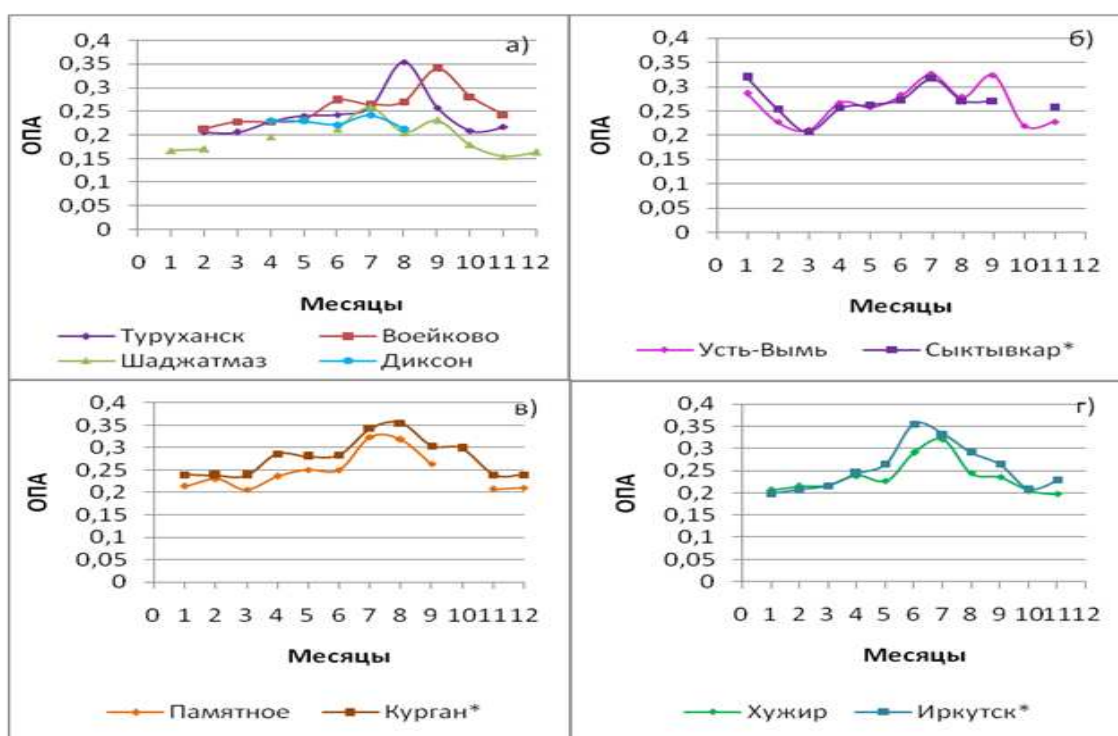


Рис. 1.2.3.2. Годовой ход ОПА на станциях фонового мониторинга атмосферы в 2020 г.

В 2020 г. максимальные среднемесячные значения ОПА достигали величины 0,350 или чуть превосходили её. На непарных фоновых станциях (рис. 1.2.3.2 а) максимальный уровень оптического замутнения, как упоминалось выше, был зарегистрирован на станции Туруханск в августе (ОПА=0,354) и в Воейково в сентябре (ОПА=0,340). Если для пригородной станции Воейково такая величина ОПА не является редкостью в случае, когда станция попадает под городской факел Санкт-Петербурга, то для станции Туруханск такое повышение ОПА необычно и связано с влиянием сильных лесных пожаров в Сибири.

Для пары станций Усть-Вымь – Сыктывкар* (рис. 1.2.3.2 б) характерна меньшая разница

в уровне оптического замутнения, а в 2020 г. с января по август 2020 г. среднемесячные значения ОПА практически не отличались. Станция Усть-Вымь является одной из наиболее загрязненных станций. Так, в 2019 и 2020 гг. оптическое замутнение на ней превосходило таковое на станции Воейково, испытывающей на протяжении нескольких лет на себе периодически влияние Санкт-Петербурга.

На парах станций Памятное – Курган* и Хужир – Иркутск* среднемесячные значения ОПА достигали величины 0,350 летом и только в городах. Городское оптическое замутнение большую часть года превосходит таковое на фоновых станциях (рис. 1.2.3.2 в и г).

Наиболее длительный 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.

Представление о характере межгодовой изменчивости ОПА за весь период наблюдений дает рис. 1.2.3.3.

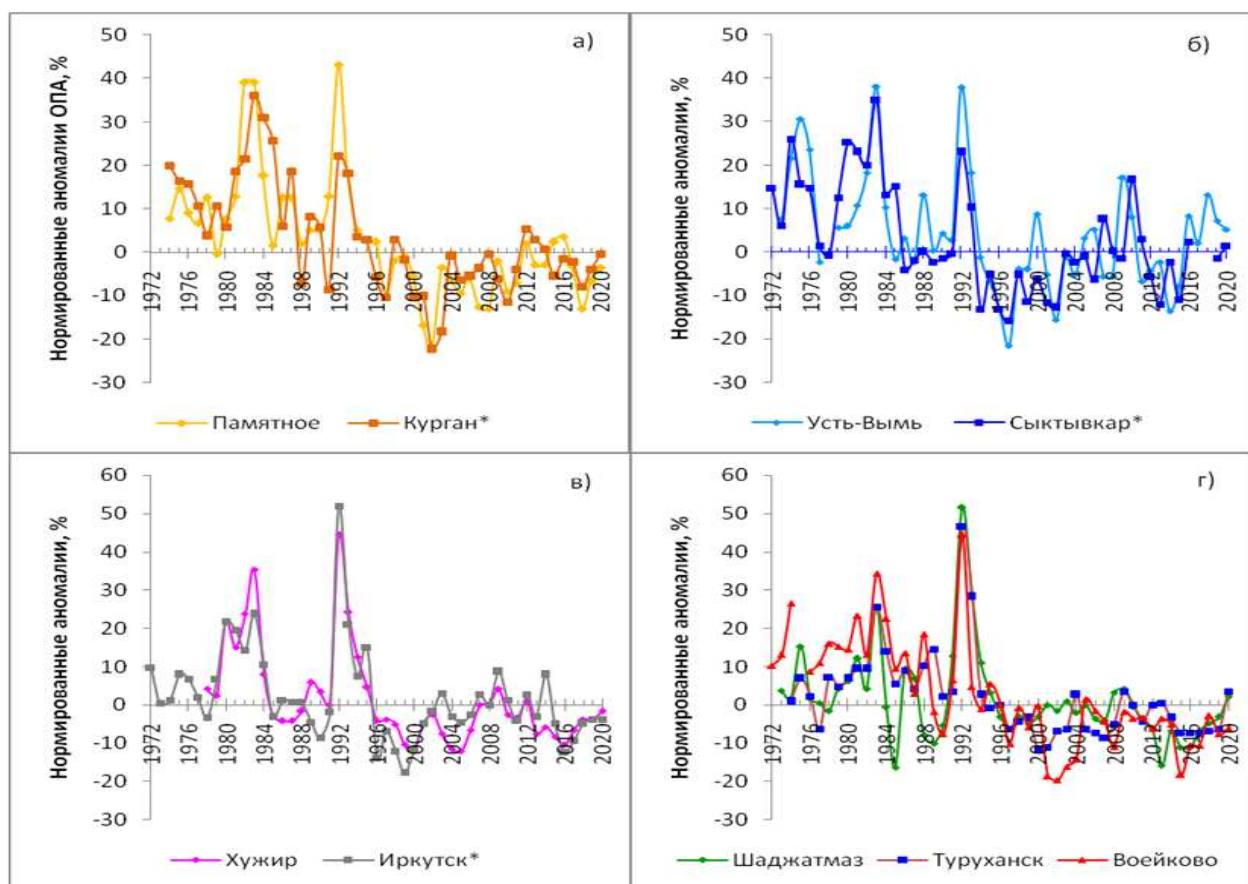


Рис. 1.2.3.3. Межгодовая изменчивость нормированных аномалий ОПА (%) на станциях фонового мониторинга

С 2000-ого года характер колебаний нормированных аномалий неодинаков. На паре станций Памятное и Курган* (рис. 1.2.3.3. а) и Хужир – Иркутск* (рис. 1.2.3.3. в) после 2000 г. нормированные аномалии ОПА в основном находятся ниже нормы. На паре Усть-Вымь – Сыктывкар* с 1990-х г. прослеживалось повышение нормированных аномалий до конца первого десятилетия 2000-х годов, когда они заметно превзошли норму, а далее их падение ниже нормы к 2015 г. (рис. 1.2.3.3. б), после чего снова начался рост. На непарных станциях нормированные аномалии ОПА находятся в основном ниже нормы (рис. 1.2.3.3. г). Особенно заметно снижение ОПА проявилось в 2001-2004 гг. и в 2015-2017 гг. на станции Воейково.

Более детально изменения оптической плотности атмосферы на станциях фонового мониторинга за последние 20 лет можно оценить по рис. 1.2.3.4. На нем приведены среднегодовые значения ОПА с 2001 по 2020 гг.

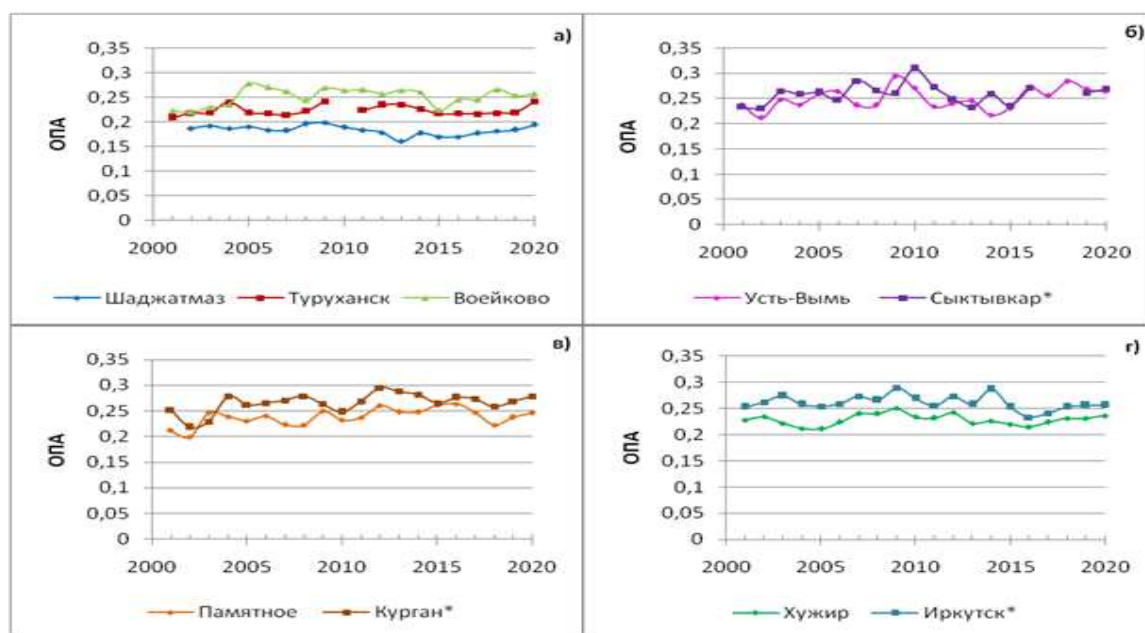


Рис. 1.2.3.4. Изменчивость среднегодовых значений ОПА в 2000-2020 гг.

Из рис. 1.2.3.4 следует, что на всех рассматриваемых станциях среднегодовые значения оптической плотности атмосферы варьируют 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 степных станциях Памятное – Курган* оптическое замутнение уже выше и варьирует на станции Памятное от 0,200 до 0,270, а в Кургане* от 0,250 до 0,300. Из непарных станций наибольшее оптическое замутнение характерно для пригородной станции Воейково.

На станциях, работающих по программе фонового мониторинга, за последние 20 лет не было зафиксировано значимых трендов среднегодовых значений оптической плотности атмосферы, хотя визуально прослеживается незначительная тенденция увеличения ОПА на парных станциях Усть-Вымь – Сыктывкар* и Памятное – Курган.

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^- , выполнен-

ных 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 71 год, в Иркутске - 61 год, в Верхнем Дуброво - 63 года, в Южно-Сахалинске - 52 года. Датчики измерителей V' , $L+$ и $L-$ установлены в пределах одного–трех метров от земли. Наблюдения в Воейково, Иркутске и Верхнем Дуброво включены в программу комплексного фоновое мониторинга атмосферы с 1980 г. 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'_c за 2015–2020 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 2015–2020 гг.

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

Таблица 1.2.4.1. Сезонные (V'_c), среднегодовые (V'_g) и среднемесячные минимальные и максимальные (в скобках) значения V' (даВ/м) за 2015–2020 гг. на станциях Воейково (В) и Иркутск (И)

Станция	Год	$V'_{c, \text{с}} (V')$				$V'_g (V')$
		Зима	Весна	Лето	Осень	
В	2020	9 (7, 11)	10 (7, 12)	7 (6, 8)	9 (8, 10)	9 (6, 12)
	2019	10 (9, 12)	12 (11, 13)	11 (10, 12)	12 (12, 13)	11 (9, 13)
	2018	13 (9, 17)	11 (10, 12)	7 (7, 7)	8 (7, 9)	10 (7, 17)
	2017	12 (10, 14)	13 (11, 15)	11 (8, 12)	10 (10, 10)	11 (8, 15)
	2016	12 (10, 17)	9 (8, 12)	9 (9, 10)	6 (5, 10)	10 (5, 17)
	2015	12 (11, 12)	10 (8, 10)	9 (8, 10)	11 (9, 13)	10 (8, 13)
И	2020	10 (10, 11)	7 (5, 10)	6 (5, 8)	7 (5, 8)	7 (5, 11)
	2019	8 Н	8 Н	6 (5, 6)	9 (6, 13)	8 (5, 13)
	2018	11 (10, 12)	9 (6, 11)	6 (5, 6)	7 (7, 7)	8 (5, 12)
	2017	11 (10, 12)	10 (8, 12)	9 (7, 11)	9 (9, 10)	10 (7, 12)
	2016	9 (8, 10)	9 (8, 10)	7 (6, 9)	9 (9, 10)	9 (6, 10)
	2015	10 (9, 11)	8 (6, 10)	6 (6, 6)	8 (5, 10)	8 (5, 11)

Из представленных в таблице 1.2.4.1 данных наблюдений следует, что в 2020 г. на станциях Воейково и Иркутск значения V' по сравнению с периодом 2015–2019 гг. незначительно уменьшились.

Как видно из таблицы 1.2.4.2, в 2020 г. по сравнению с периодом 2015–2019 гг. наблюдается увеличение среднегодового значения LS на станциях Воейково и Иркутск. На станциях Верхнее Дуброво и Южно-Сахалинск значительных изменений не произошло.

На рис. 1.2.4.1 представлен годовой ход V' за 2020 г. на фоне осредненного годового хода V' за период 2015–2019 гг. На рис. 1.2.4.2 в такой же форме показан годовой ход LS по всем станциям. Как следует из рис. 1.2.4.1 значения V' за 2020 г. на обеих станциях незначительно ниже осредненных значений за предыдущие годы.

На рис. 1.2.4.2 значения LS за 2020 г. на станциях Воейково и Иркутск увеличились относительно предыдущего периода, причем наиболее значительно в весенне-летний период. На станциях Верхнее Дуброво и Южно-Сахалинск значения LS в 2020 г. чуть ниже осредненных значений за предыдущие годы.

В 2020 г. было выявлено снижение среднемесячных значений градиента потенциала электрического поля атмосферы V' на станциях Воейково и Иркутск и одновременное увеличение LS по сравнению с 2015–2019 гг. Это может быть связано с уменьшением аэрозольных вы-

бросов в атмосферу в ближайшем к Воейково Санкт-Петербурге и в Иркутске из-за сокращения промышленной и транспортной активности в период пандемии.

На арктических станциях Тикси и Диксон незначительное уменьшение суммарной электрической проводимости LS в 2020 г. в Тикси и увеличение LS на станции Диксон находятся в пределах $\pm\sigma$ и не нарушают закономерностей, выявленных за 2015-2019 гг.

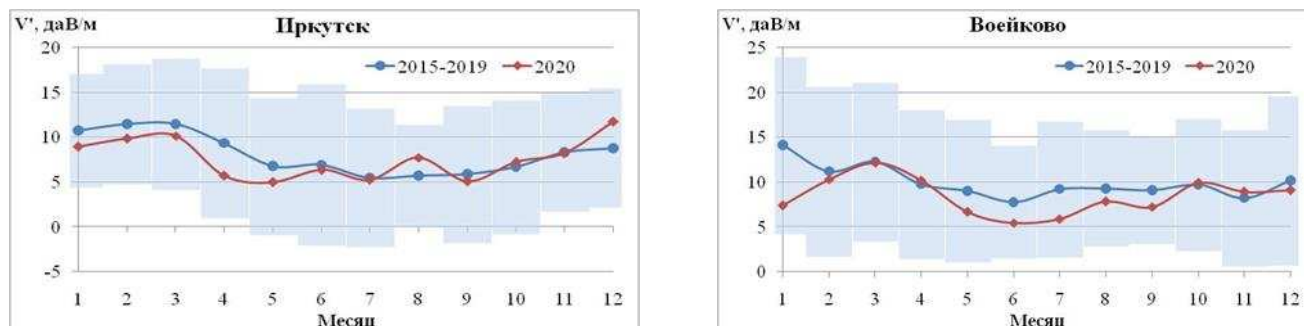


Рис. 1.2.4.1. Годовой ход V' по станциям атмосферно – электрической сети Воейково и Иркутск в 2020 г. на фоне осредненного годового хода V' за период 2015–2019 гг.

Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2015–2019 гг.

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 Верхнее Дуброво (ВД), Воейково (В), Иркутск (И), Южно-Сахалинск (ЮС) (2015-2020 гг.)

Станция	Год	Lc, (Ls)				Lг, (Ls)
		Зима	Весна	Лето	Осень	
ВД	2020	16 (15, 19)	14 (13, 16)	15 (14, 16)	17 (14, 19)	16 (13, 19)
	2019	12 (11, 13)	15 (13, 17)	16 (13, 19)	17 (16, 20)	15 (11, 20)
	2018	14 (12, 16)	13 (12, 14)	15 (15, 16)	13 (10, 14)	14 (10, 16)
	2017	13 (13, 14)	13 (12, 15)	14 (14, 15)	17 (16, 17)	14 (12, 17)
	2016	19 (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)
В	2020	19 (19, 20)	21 (17, 24)	19 (17, 22)	20 (19, 21)	20 (17, 24)
	2019	15 (11, 16)	18 (15, 21)	19 (18, 20)	18 (17, 20)	18 (11, 21)
	2018	16 (16, 18)	18 (14, 20)	20 (19, 22)	19 (18, 19)	18 (14, 22)
	2017	16 (16, 17)	18 (15, 21)	19 (16, 21)	18 (16, 20)	18 (15, 21)
	2016	14 (11, 18)	17 (15, 19)	16 (14, 18)	18 (17, 20)	16 (11, 20)
	2015	16 (12, 18)	18 (16, 20)	18 (16, 20)	20 (18, 20)	18 (12, 20)
И	2020	22 (19, 25)	28 (22, 32)	28 (27, 30)	27 (23, 30) Н	26 (19, 32)
	2019	21 (18, 24)	23 (22, 25)	22 (20, 23)	28 (26, 33)	24 (18, 33)
	2018	19 (18, 20)	24 (23, 25)	22 (19, 15)	25 (24, 27)	23 (15, 27)
	2017	20 (19, 21)	23 (23, 24)	22 (20, 23)	25 (23, 27)	23 (19, 27)
	2016	15 (13, 17)	20 (19, 22)	18 (17, 21)	19 (19, 21)	18 (13, 22)
	2015	25 (22, 27)	24 (22, 27)	16 (14, 19)	22 (18, 26)	22 (14, 27)
ЮС	2020	5 (4, 8)	8 (6, 9)	10 (8, 10)	10 Н	8 (4, 10)
	2019	6 (5, 6)	7 (6, 8)	8 (7, 10)	9 (8, 10)	8 (5, 10)
	2018	6 (5, 7)	7 (6, 9)	11 (8, 12)	9 (7, 11)	8 (5, 12)
	2017	7 (6, 9)	8 (6, 10) Н	8 (8, 9)	8 (7, 9)	8 (6, 10)
	2016	11 (H)	9 (9, 10)	10 (9, 12)	-	10 (9, 12) С
	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 «Н» (неполные), средние значения за год, вычисленные по данным трех сезонов отмечены символом «С».

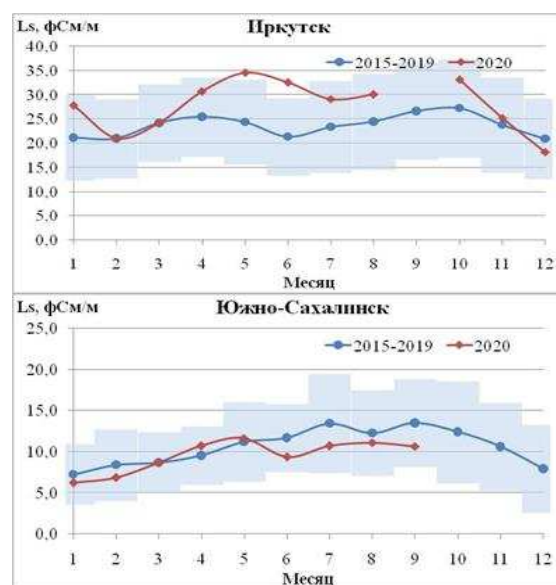
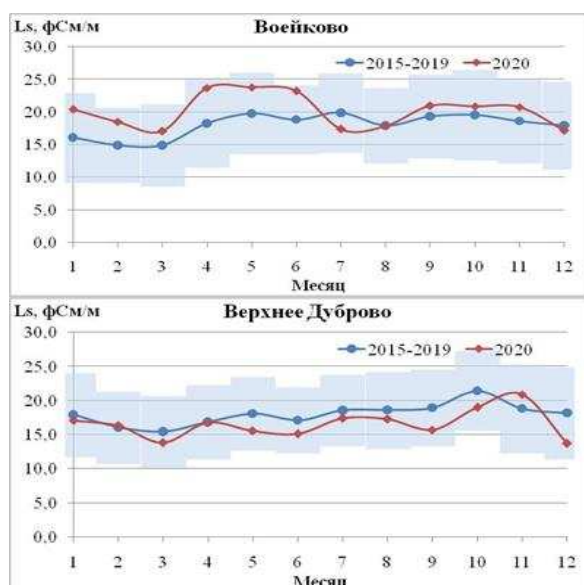


Рис. 1.2.4.2. Годовой ход LS на станциях Воейково, Иркутск, Верхнее Дуброво и Южно-Сахалинск в 2020 г. на фоне осредненного годового хода LS за период 2015–2019 гг.

Цветным фоном обозначены границы стандартного отклонения $\pm\sigma$ от среднего значения за 2015–2019 гг.

1.3. Химический состав атмосферных осадков

1.3.1. Загрязняющие вещества в атмосферных осадках

Для оценки характеристик загрязнения осадков были использованы ряды наблюдений с октября 2019 г. по сентябрь 2020 г. (геофизический год).

Тяжелые металлы

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации **свинца** в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 0,5 мкг/л, Приокско-Тerrasного БЗ около 2,7 мкг/л, Астраханского БЗ около 0,4 мкг/л, Воронежского БЗ около 0,75 мкг/л, Алтайского БЗ (Яйлю) 1,6 мкг/л. Средневзвешенная годовая фоновая концентрация свинца в атмосферных осадках на территории всех заповедников в рассматриваемый период была значительно ниже уровней, зафиксированных в предыдущие года, за исключением Алтайского БЗ (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

Максимальная среднемесячная концентрация свинца в осадках за текущий геофизический год на территории Кавказского БЗ отмечалась в июне. В остальные месяцы концентрация свинца не превышала 1 мкг/л.

В Приокско-Тerrasном БЗ среднемесячное содержание свинца в атмосферных осадках в большинстве случаев не превышало 2 мкг/л (7 месяцев). Максимальное значение (8,2 мкг/л) было отмечено в августе 2020 г.

Среднемесячные концентрации свинца на территории Астраханского БЗ, как и Кавказского БЗ, находились на уровне ниже 1 мкг/л. Только в марте среднемесячная концентрация свинца была на уровне выше 1 мкг/л.

В Воронежском БЗ среднемесячные концентрации свинца были ниже, чем в предыдущие годы наблюдений. Максимальное содержание свинца в осадках на территории Алтайского БЗ отмечалось в феврале 2020 г. (около 6,5 мкг/л), минимальные уровни были зафиксированы в августе и сентябре (менее 0,5 мкг/л). Содержание свинца в атмосферных осадках на территории Алтайского заповедника в 6 месяцах из 12 в рассматриваемый период находилось в диапазоне близких к пределу обнаружения.

Годовые средневзвешенные фоновые концентрации **кадмия** в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 0,06 мкг/л, Приокско-Тerrasного БЗ 0,10 мкг/л, Воронежского БЗ – 0,04 мкг/л, Алтайского БЗ (Яйлю) – 0,08 мкг/л.

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации кадмия в атмосферных осадках на территории заповедников в рассматриваемый период сохранились на низком уровне (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

На территории Кавказского БЗ концентрации кадмия за рассматриваемый геофизический год находились в диапазоне от 0,01 мкг/л (август 2020 г.) до около 0,2 мкг/л (март и сентябрь 2020 г.). В остальные месяцы концентрации кадмия не превышали 0,05 мкг/л.

В Приокско-Тerrasном БЗ значительный рост содержания кадмия в атмосферных осадках был зафиксирован в феврале 2020 г. (выше 1 мкг/л) и сентябре 2020 г. (на уровне 0,35 мкг/л). Минимальное содержание кадмия в атмосферных осадках в рассматриваемый период было зафиксировано в октябре 2019 г.

На территории Воронежского заповедника концентрации кадмия варьировали не превышали 0,07 мкг/л. Наименьшее содержание кадмия в атмосферных осадках было

зафиксировано в марте и сентябре 2020 г., а максимальное – в январе 2020 г.

На территории Алтайского заповедника содержание кадмия не превышало 0,1 мкг/л, за исключением повышенного содержания в августе 2020 г. (0,25 мкг/л).

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

Заповедник	Период наблюдений	Свинец, мкг/л		Кадмий, мкг/л		Ртуть, мкг/л	
		Диапазон	2019-2020 г.	Диапазон	2019-2020 г.	Диапазон	2019-2020 г.
Кавказский БЗ	1982-2020	0,19 - 69,0	0,5	0,010 - 49,0	0,06	0,001 - 22,4	0,55
Приокско-Тerrasный БЗ	1983-2020	0,2 - 696,0	2,7	0,009 - 20,0	0,10	0,01 - 80,0	0,35
Астраханский БЗ	1987-2020	0,05 - 91,0	0,4			0,02 - 376,0	0,7
Воронежский БЗ	1989-2020	0,18 - 44,2	0,75	0,025 - 19,0	0,04	0,001 - 311,0	0,15
Яйлю	1998-2020	0,25 - 48,0	1,6	0,011 - 12,5	0,08	0,001 - 0,97	0,15

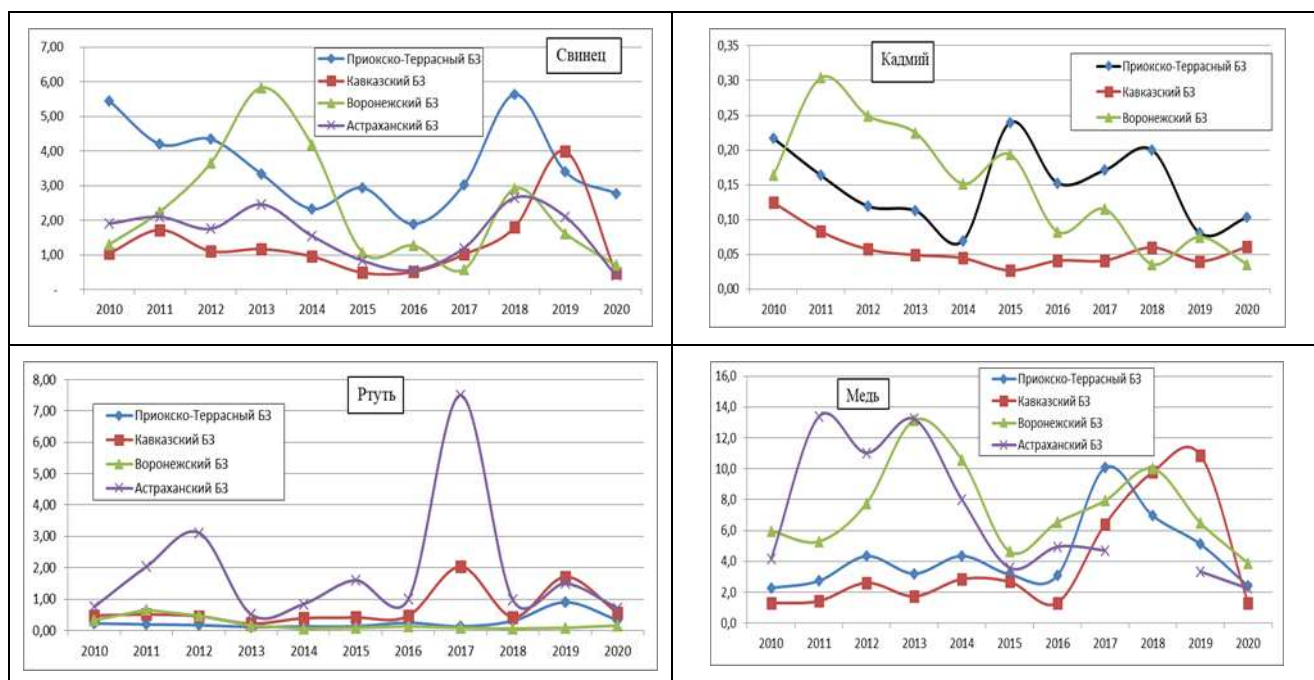


Рис. 1.3.1.1. Изменение среднегодового содержания тяжелых металлов в атмосферных осадках фоновых районов в 2009-2019 гг. (геофизические гг.)

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации **ртути** в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 0,55 мкг/л, Приокско-Тerrasного БЗ – 0,35 мкг/л, Астраханского БЗ 0,7 мкг/л, Воронежского БЗ 0,15 мкг/л, Алтайского БЗ (Яйлю) – 0,15 мкг/л.

На территории Кавказского БЗ экстремально высокая концентрация ртути в атмосферных осадках была зафиксирована в июне, в июле также содержание ртути было на высоком уровне, но значительно ниже уровня июня. Минимальное содержание ртути в атмосферных осадках было зафиксировано в ноябре 2019 г. (табл. 1.3.1.1, рис. 1.3.1.1).

На территории Приокско-Тerrasного БЗ повышенное содержание ртути в атмосферных осадках было зафиксировано в марте 2020 г., в последующие месяцы уровень содержания ртути уменьшался, но все еще оставался на более высоком значении, чем в начале рассматриваемого периода. Минимальное значение было зафиксировано в декабре 2019 г.

На территории Астраханского БЗ максимальные концентрации ртути в атмосферных осадках отмечались в январе, феврале и мае 2020 г., а минимальные – в октябре 2019 г.

В Воронежском БЗ содержание ртути в атмосферных осадках в большинстве случаев находилось ниже 0,2 мкг/л, за исключением концентраций, зафиксированных в мае и июне 2020

г. Минимальные концентрации ртути были зафиксированы в ноябре и декабре 2020 г.

На территории Алтайского заповедника содержание ртути в большинство месяцев не превышало 0,1 мкг/л, за исключением декабря 2019 г. и марта 2020 г. В эти месяцы содержание ртути было в несколько раз выше 0,1 мкг/л. Минимальное значение содержания ртути в осадках отмечалось в октябре 2019 г.

Средневзвешенные годовые фоновые концентрации **меди** в атмосферных осадках составили: на территории Кавказского БЗ – около 1,4 мкг/л, Приокско-Тerrasного БЗ – 2,5 мкг/л, Астраханского БЗ – 2,2 мкг/л, Воронежского БЗ – 4 мкг/л, Алтайского БЗ (Яйлю) – 1 мкг/л.

На территории Кавказского БЗ содержание меди в атмосферных осадках не превышало 1,5 мкг/л. Повышенные концентрации были зафиксированы в январе и июне 2020 г. (более 4,5 и около 3 мкг/л соответственно). Минимальные концентрации были зафиксированы в октябре 2019 г. и мае 2020 г.

На территории Приокско-Тerrasного БЗ минимальное содержание меди в атмосферных осадках было зафиксировано в июне-июле 2020 г., а максимальное – в марте 2020 г. (около 8 мкг/л).

На территории Астраханского БЗ содержание меди варьировало от уровня предела обнаружения до 7,5 мкг/л. Максимальное содержание меди в атмосферных осадках было отмечено в декабре 2019 г. и январе 2020 г., а минимальные значения (на уровне предела обнаружения) были зарегистрированы в августе и сентябре 2020 г.

В Воронежском БЗ концентрации меди варьировали в диапазоне от 1 мкг/л (апрель 2020 г.) до 12,4 мкг/л (декабрь 2019 г.). При этом большинство значений не превышало 5 мкг/л.

На территории Алтайского заповедника был зафиксирован значительный рост содержания меди в атмосферных осадках в октябре 2019 г., а также было отмечено повышенное значение в июле 2020 г. (около 2,5 мкг/л). В остальные месяцы рассматриваемого периода содержание меди в атмосферных осадках не превышало 1,5 мкг/л.

1.3.2. Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков

В систему Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО входят 10 станций, распределенных по двум зонам: Европейская часть России (ЕЧР) — Усть-Вымь, Приокско-Тerrasный биосферный заповедник (БЗ), Воронежский БЗ, Шаджатмаз и Кавказский БЗ; Азиатская часть России (АЧР) — Туруханск, Хужир, Памятная, Тикси и Терней (Сихотэ-Алинский БЗ). Дополнительно были рассмотрены данные по химическому составу осадков (ХСО) станции Приморская. В соответствии с рекомендацией ВМО на большинстве станций отбирались недельные пробы осадков, на станциях Хужир и Тикси – месячные пробы, а на станции Приморская – суточные пробы.

Основные характеристики химического состава осадков (ХСО) фоновых станций в 2020 г., а также за период 2016-2020 гг. представлены в табл. 1.3.2.1 и 1.3.2.2.

В 2020 г. средневзвешенные значения минерализации осадков фоновых станций, в основном, были ниже величины регионального фона (15 мг/л). Превышение регионального фона чаще характерно для осадков АЧР. На Европейской части РФ осадки с низкой минерализацией преимущественно выпадают в Приокско-Тerrasном БЗ, где минерализация недельных проб осадков редко превышает 10 мг/л.

Таблица 1.3.2.1. Средневзвешенные концентрации ионов и величины pH и удельной электропроводности (k) в осадках на станциях фонового мониторинга, 2020 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											
ЕЧР												
Усть-Вымь	0,92	0,46	0,68	1,77	0,48	0,47	0,21	0,42	0,06	5,5	5,9	15
Приокско-Террасный БЗ	0,87	0,41	0,79	0,23	0,17	0,15	0,13	0,37	0,07	3,2	5,5	10
Воронежский БЗ	2,44	0,85	1,72	1,47	0,45	0,58	0,49	0,86	0,14	9,0	5,7	22
Кавказский БЗ	1,24	0,38	0,84	0,89	0,23	0,17	0,11	0,62	0,07	4,6	5,7	14
Шаджатмаз	1,70	0,45	1,62	2,79	0,52	0,24	0,28	1,28	0,15	9,0	6,2	16
АЧР												
Памятная	1,93	1,05	1,11	1,59	0,34	0,71	0,53	0,70	0,16	8,2	6,0	22
Туруханск	1,68	0,63	0,54	3,75	0,17	0,67	0,25	0,56	0,55	8,8	6,3	15
Хужир	1,29	0,37	0,38	1,28	0,16	0,21	0,19	0,32	0,27	4,5	6,1	16
Терней	2,79	1,48	1,82	0,60	0,68	0,65	0,41	0,87	0,25	9,6	5,6	19
Тикси	2,79	3,98	0,23	1,56	0,42	2,03	0,44	0,40	0,28	11,8	5,9	28
Приморская (ЕАНЕТ)	3,03	1,17	1,19	0,96	0,46	0,86	0,39	0,83	0,24	9,1	5,9	18

Таблица 1.3.2.2. Средневзвешенные концентрации ионов и величины pH и удельной электропроводности (k) осадков станций фонового мониторинга, 2016-2020 гг.

Станция	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	M	pH.	k, мкСм/см
	мг/л											
ЕЧР												
Усть-Вымь	1,07	0,44	0,85	2,44	0,48	0,40	0,19	0,66	0,08	6,6	5,9	14
Приокско-Террасный БЗ	0,94	0,45	1,03	0,30	0,27	0,16	0,14	0,36	0,07	3,7	5,4	11
Воронежский БЗ	2,04	0,89	1,73	1,01	0,40	0,56	0,44	0,67	0,12	7,9	5,5	20
Кавказский БЗ	1,30	0,49	0,84	1,68	0,25	0,24	0,13	0,85	0,10	5,9	5,8	15
Шаджатмаз	1,55	0,51	1,70	3,95	0,73	0,24	0,28	1,37	0,19	10,5	6,2	18
АЧР												
Памятная	2,04	1,21	1,30	1,83	0,44	0,78	0,49	0,73	0,21	9,1	5,8	23
Туруханск	1,63	0,67	0,56	2,63	0,19	0,53	0,29	0,57	0,40	7,5	6,1	16
Хужир	1,14	0,38	0,45	2,37	0,22	0,21	0,20	0,42	0,38	5,8	6,1	15
Терней	2,10	1,33	1,71	0,42	0,41	0,77	0,23	0,67	0,22	7,9	5,5	17
Тикси	2,39	4,14	0,45	2,72	0,35	1,96	0,56	0,61	0,34	13,5	5,91	27
Приморская (ЕАНЕТ)	3,19	1,28	1,70	1,13	0,78	0,74	0,53	0,83	0,27	10,5	6,0	25

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

Наибольшие содержания гидрокарбонатов в осадках ЕТР характерны для ст. Усть-Вымь, располагающейся в сельской местности, для горных районов – Шаджатмаз и Кавказский БЗ, а также для Воронежского БЗ. На АЧР высокое содержание гидрокарбонатов в атмосферных осадках характерно обычно для Туруханска, Памятной, Тикси и Хужира.

В 2020 г. значительное снижение содержания гидрокарбонатов в осадках было характерно для Хужира, где их средневзвешенная концентрация снизилась практически в 2 раза по сравнению с 2016-2020 гг. Изменение содержания основных компонентов в атмосферных осадках фоновых станций ЕЧР и АЧР в 2020 г. по сравнению с периодом 2016-2020 гг. представлено на рис. 1.3.2.1.

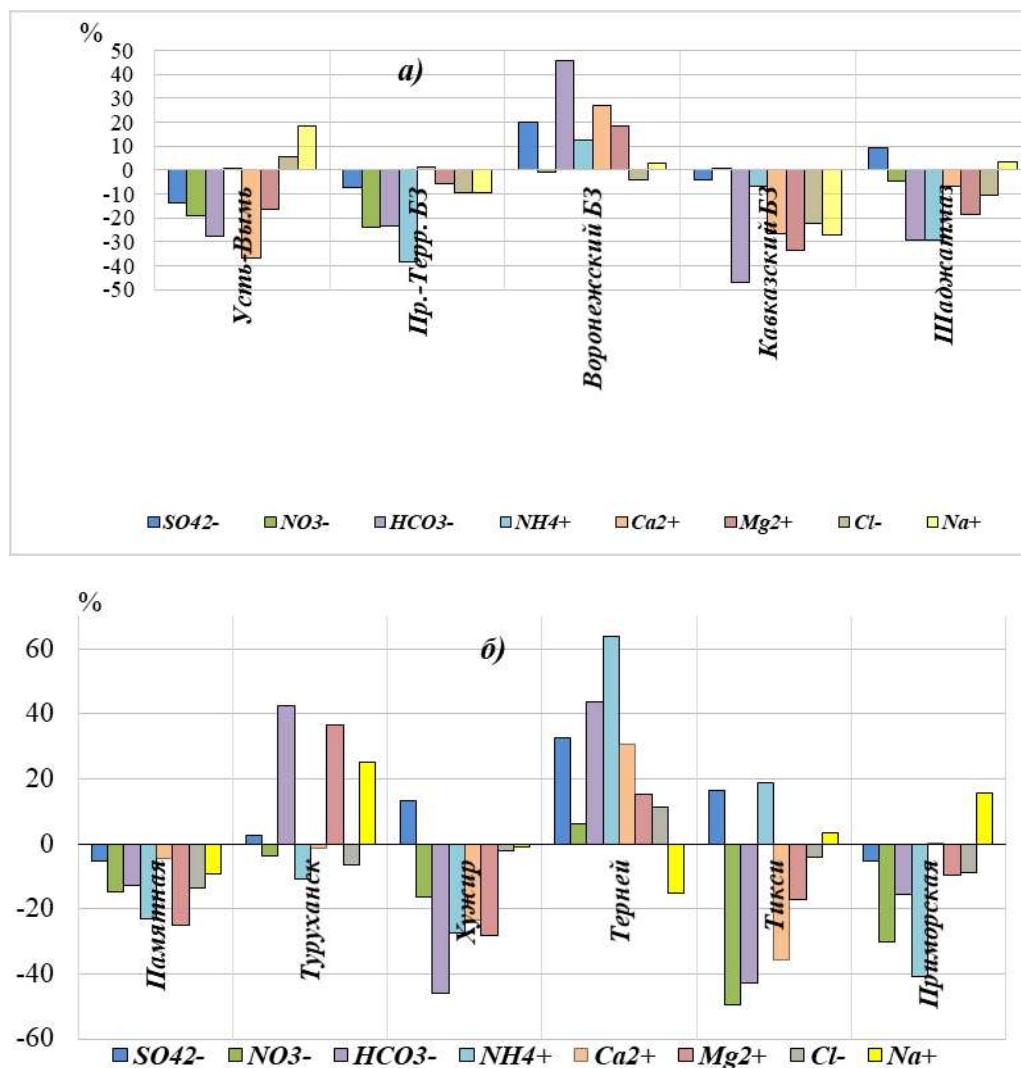


Рис. 1.3.2.1. Изменение (%) содержания основных компонентов в атмосферных осадках фоновых станций ЕЧР (а) и АЧР (б) в 2020 г. по сравнению с периодом 2016-2020 гг.

Пространственная неоднородность сульфатов проявляется повышенным их содержанием в осадках АЧР по сравнению с осадками ЕЧР. В 2020 г., как и в предыдущие годы, наименьшие средневзвешенные концентрации сульфатов были измерены в осадках Приокско-Террасного БЗ. Следует отметить, что на ЕЧР, кроме Воронежского БЗ и Шаджатмаза, содержание сульфатов в осадках Усть-Выми, Приокско-Террасного и Кавказского БЗ снизилось в пределах 5-15%. При этом на большей части АЧР концентрация сульфатов в осадках увеличилась.

В целом в 2020 г. средневзвешенная сумма ионов снизилась в осадках большинства фоновых станций: на 20% в Кавказском БЗ и в Хужире, в среднем на 15% – в Усть-Выми, Приокско-Тerrasном БЗ и в Шаджатмазе и на 10% – в Памятной и Приморской.

Для осадков Усть-Выми и Приокско-Тerrasного БЗ также свойственно снижение нитратов – на 20 и 24% соответственно, а для остальных станций ЕЧР изменение содержания нитратов в осадках в 2020 г. не превышало 5%. В целом для всех фоновых станций АЧР, за исключением Тикси и Тернея, специфично снижение аммония в осадках, на 10-40%.

Увеличение минерализации было присуще для осадков Воронежского БЗ – на 14%; для осадков Туруханска и Тернея – в среднем на 20%. Увеличение содержания аммония на ЕЧР в осадках Воронежского БЗ достигло 13%, на АЧР в осадках Тернея – в 2 раза.

В 2020 г. по сравнению с 2019 г. практически на всей ЕЧР кислотность осадков фоновых станций, выраженная среднегодовым значением pH, или снизилась в пределах 0,2-0,3 ед.pH, или сохранилась практически неизменной, а общая картина распределения среднегодовых значений pH в 2016-2020 гг. представлена на рис. 1.3.2.2.

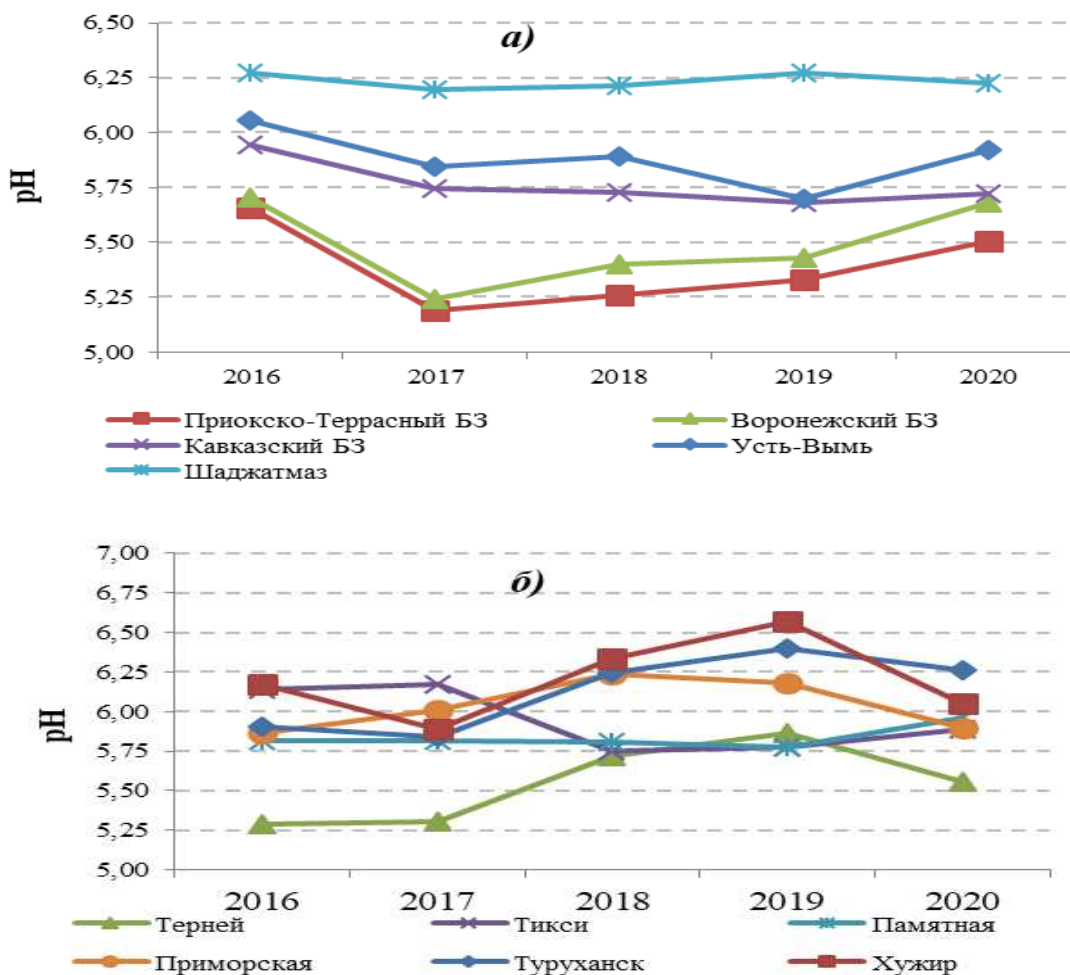


Рис. 1.3.2.2. Изменение среднегодовых значений pH атмосферных осадков фоновых станций на ЕЧР (а) и АЧР (б) в период с 2016 по 2020 гг.

В 2020 г. максимальная кислотность осадков (pH_{мин}) на ЕЧР наблюдалась в недельных пробах осадков Воронежского – 4,3, и Приокско-Тerrasного БЗ – 4,4, что обусловлено в основном локальными влияниями. Значения pH ниже 5,0 наблюдались также и в осадках других станций ЕЧР, а диапазон изменения pH недельных проб осадков составил 4,3-7,4 ед.pH.

Диапазон изменения кислотности недельных и месячных проб осадков на АЧР составил 4,5-7,2 ед.рН. Минимальные значения рН наблюдались в осадках Тернея и Памятной. В осадках Приморской по данным суточных измерений минимальное значение рН составило 4,95, максимальное – 6,91.

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 2020 г. представлены в таблице 1.3.2.3.

В 2020 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 50% на ЕЧР и от 35 до 60% на АЧР. Вклад азотосодержащих соединений в общую массу выпадений был максимальным (30%) в осадках Приокско-Террасного БЗ. Для большинства осадков, как на ЕЧР, так и на АЧР, вклад азотосодержащих соединений составил порядка 25%, а минимальный вклад, не более 10%, характерен для осадков Тикси и Туруханска.

Величина суммарных влажных выпадений (P) загрязняющих компонентов на большинстве фоновых станций в значительной степени определяется суммой осадков. Влажные выпадения веществ всегда более высокие на станциях с большим количеством осадков. Так, на ЕЧР максимальные суммарные выпадения характерны обычно для Кавказского БЗ, в 2020 г. они составили 6,3 т/км²·год, а на АЧР – для Тернея (8,4 т/км²·год) и Приморской (7,4 т/км²·год).

Наибольший интерес представляют выпадения кислотных компонентов – серы сульфатной ($S(SO_4^{2-})$) и суммарного азота ($\Sigma N = N(NO_3^-) + N(NH_4^+)$), значения которых за 2020 г. представлены в табл. 1.3.2.3.

Таблица 1.3.2.3. Выпадение серы, азота и суммы ионов с осадками, 2020 г.

Станция	q, мм	S(SO ₄)	N(NO ₃)	N(NH ₄)	ΣN	P	N(NH ₄)/ N(NO ₃)	S / Σ N
		т/км ² ·год						
ЕЧР								
Усть-Вымь	655,5	0,20	0,10	0,25	0,35	3,6	2,42	0,58
Приокско-Террасный БЗ	683,7	0,20	0,12	0,09	0,21	2,2	0,73	0,94
Воронежский БЗ	378,3	0,31	0,15	0,13	0,28	3,4	0,91	1,10
Кавказский БЗ	1393,2	0,57	0,26	0,25	0,52	6,3	0,96	1,11
Шаджатмаз	580,2	0,33	0,21	0,23	0,44	5,1	1,10	0,74
АЧР								
Памятная	412,5	0,25	0,10	0,10	0,20	3,1	1,04	1,26
Туруханск	762,1	0,42	0,09	0,10	0,19	6,7	1,12	2,18
Хужир	231,9	0,06	0,01	0,03	0,04	1,0	1,81	1,38
Приморская	881,3	0,82	0,22	0,29	0,51	7,4	1,34	1,60
Терней	941,7	0,81	0,36	0,14	0,50	8,4	0,40	1,61
Тикси	272,8	0,23	0,01	0,08	0,09	3,0	6,35	2,45

В целом, за 2016-2020 гг. выпадения серы сульфатной не превышали 1,0 т/км²·год на ЕЧР и 1,3 т/км²·год на АЧР (рис. 1.3.2.3, 1.3.2.4). Минимальные выпадения серы на ЕЧР характерны для Приокско-Террасного БЗ и Усть-Выми. За последние 5 лет выпадения серы в Шаджатмазе не изменились и варьировались около 0,3 т/км²·год, а в Кавказском БЗ выпадения серы продолжают снижаться – с 1,23 в 2016 г. до 0,57 т/км²·год в 2020 г.

На АЧР минимальные выпадения серы характерны для Хужира, что объясняется малым

количеством выпадающих здесь осадков. Увеличение в осадках Хужира содержания сульфатов на 20% повлекло за собой также увеличение выпадения серы сульфатной – с 0,06 до 0,10 т/км²·год. Максимальное поступление серы характерно для ст. Приморская и за период 2016-2020 гг. составило от 0,6 - 1,3 т/км²·год. Увеличение выпадений серы в 2020 г., по сравнению с 2019 г., характерно практически для всей АЧР.

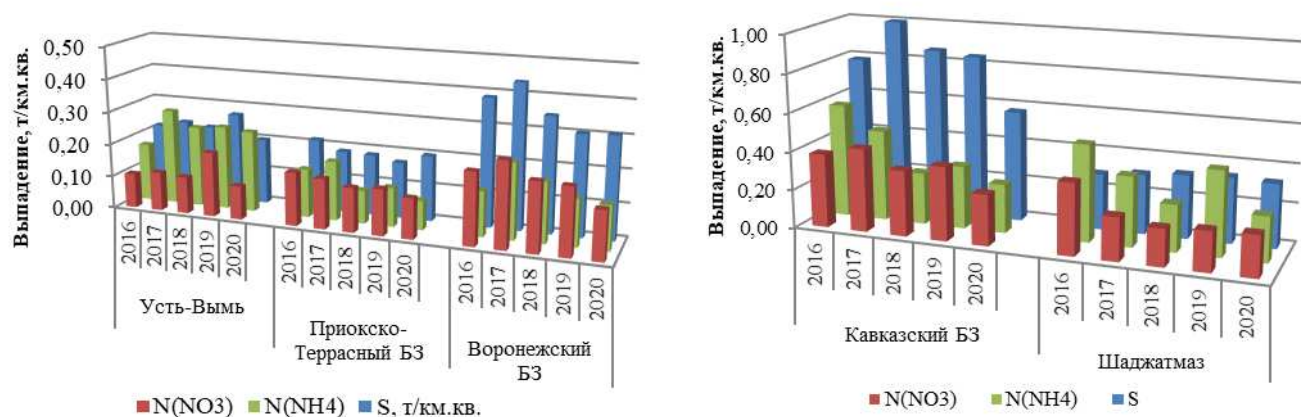


Рис. 1.3.2.3. Выпадения серы (S), азота нитратного (N(NO₃)) и азота аммонийного (N(NH₄)) с атмосферными осадками на ЕЧР в период с 2016 по 2020 гг.

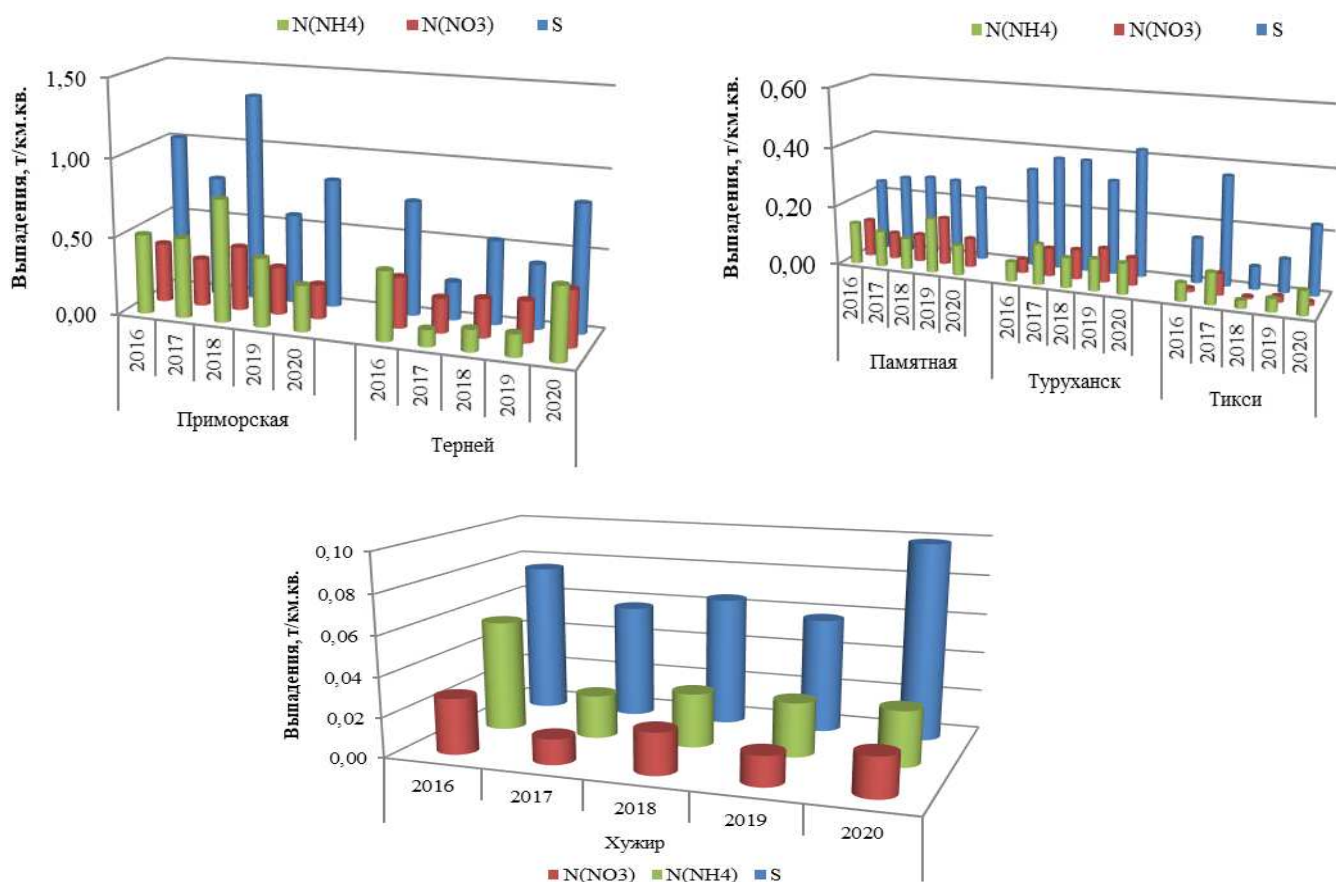


Рис. 1.3.2.4. Выпадения серы (S), азота нитратного (N(NO₃)) и азота аммонийного (N(NH₄)) с атмосферными осадками на АЧР в период с 2016 по 2020 гг.

Поступление суммарного азота с осадками на ЕЧР не превышало $1,0 \text{ т/км}^2\cdot\text{год}$ и на АЧР – $1,2 \text{ т/км}^2\cdot\text{год}$. В 2020 г. доля ($\text{N}(\text{NH}_4)$) от суммарной величины выпадений составляла от 5 до 10% на ЕЧР и от 2 до 7% на АЧР. Превышение поступления с осадками азота аммиачного ($\text{N}(\text{NH}_4)$) над азотом нитратным ($\text{N}(\text{NO}_3)$) отмечалось за весь период 2016-2020 гг. в Усть-Выми и Шаджатмазе и в отдельные годы – в Приокско-Тerrasном и Кавказском БЗ. Следует отметить снижение выпадений аммиачного азота с осадками в Шаджатмазе в 2020 г. по сравнению с предыдущим годом – с $0,43$ до $0,23 \text{ т/км}^2\cdot\text{год}$. Для большинства фоновых станций АЧР характерно преобладание поступления азота аммиачного над азотом нитратным. Диапазон изменения этих величин составил от $0,02$ до $0,8 \text{ т/км}^2\cdot\text{год}$ для азота аммиачного и от $0,01$ до $0,4 \text{ т/км}^2\cdot\text{год}$ для азота нитратного. Как правило, низкое поступление суммарного азота наблюдалось в районе ст. Хужир, максимальное – ст. Приморская.

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 2020 г. среднегодовое содержание газовых примесей в воздухе на всех региональных станциях увеличилось по сравнению с предыдущим годом, а среднее содержание SO_2 на станции Листвянка превысило уровни, отмеченные на других станциях ЕАНЕТ. В 2020 г. было отмечено снижение концентраций азот- и серосодержащих аэрозолей в целом на всех станциях. На станции Монды концентрации нитратов были близки к уровню среднего многолетнего, а в Приморье было отмечено значительное уменьшение содержания сульфатов. В общем составе взвешенных частиц наибольшие концентрации за весь период наблюдения на всех станциях ЕАНЕТ были характерны для сульфатов, определяющих 40-60% состава атмосферных аэрозолей по массе (рис. 1.4.1). В районе оз. Байкал сохранялись более низкие концентрации аэрозольных соединений, при этом за время наблюдений содержание практически всех основных ионов в аэрозолях воздуха уменьшилось вдвое.

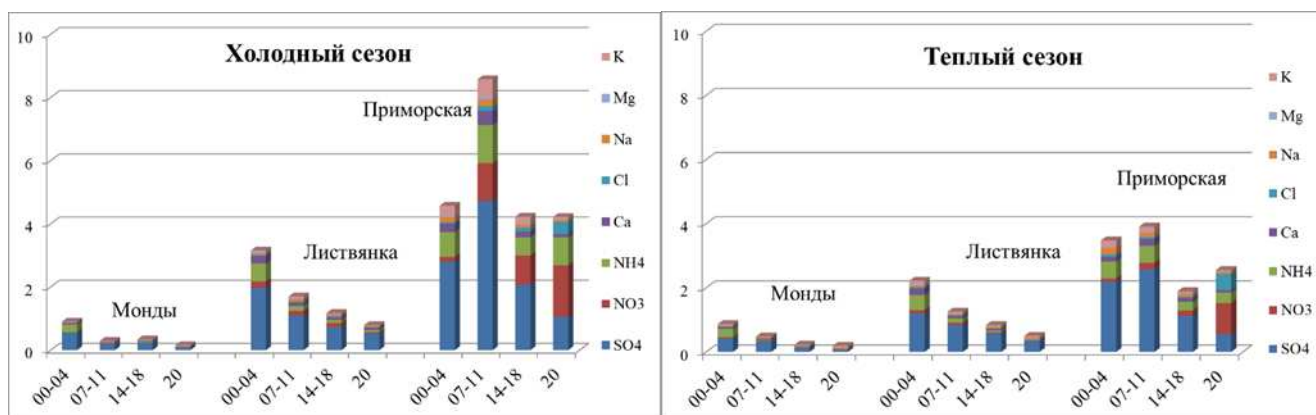


Рис. 1.4.1. Изменение среднего химического состава аэрозолей ($\text{мг}/\text{м}^3$) на станциях ЕАНЕТ в холодный (слева) и теплый (справа) периоды по наблюдениям в 2000-2020 гг.

Для большинства веществ, содержащихся в аэрозолях, среднесезонные концентрации продолжают снижаться на станциях Монды и Листвянка. В многолетнем ходе среднегодовых концентраций серо- и азотсодержащих веществ в воздухе также продолжает отмечаться снижение их значений на станциях в регионе оз. Байкал по сравнению с 2015-2017 гг., кроме SO_2 (рис. 1.4.2). В 2020 г. в Приморье было отмечено увеличение содержания загрязняющих веществ в атмосфере после 3х лет значительного их снижения, но для большинства из них концентрации остаются ниже по сравнению с 2013-2015 гг.

В начале 2020 г. в зимние месяцы наблюдалось относительно малое количество осадков. Содержание сульфатов в весенних осадках было в 2 раза выше, чем в другие месяцы года, кроме зимних, а концентрации нитратов, кальция и аммония в течение всего 2020 г.

В 2020 г. сезонные изменения выпадений веществ определялись, главным образом, годовым ходом осадков. Наибольшие потоки этих основных анионов были отмечены в Приморье летом (NO_3^- 0,16-0,18 $\text{г}/\text{м}^2$ и SO_4^{2-} 0,27-0,33 $\text{г}/\text{м}^2$) и в начале осени (0,11 и 0,28 $\text{г}/\text{м}^2$ для NO_3^- и SO_4^{2-} , соответственно), а за все месяцы холодного периода их влажные выпадения в

целом не превысили $0,26 \text{ г/м}^2$ для NO_3^- и $0,50 \text{ г/м}^2$ для SO_4^{2-} (рис. 1.4.3). Выпадения в 2020 г. на этих станциях составили для сульфатов $0,57 \text{ г/м}^2$ и $1,94 \text{ г/м}^2$ для ст. Листвянка и ст. Приморская, соответственно, для нитратов $0,29$ и $0,88 \text{ г/м}^2$, аммония $0,09$ и $0,32 \text{ г/м}^2$.

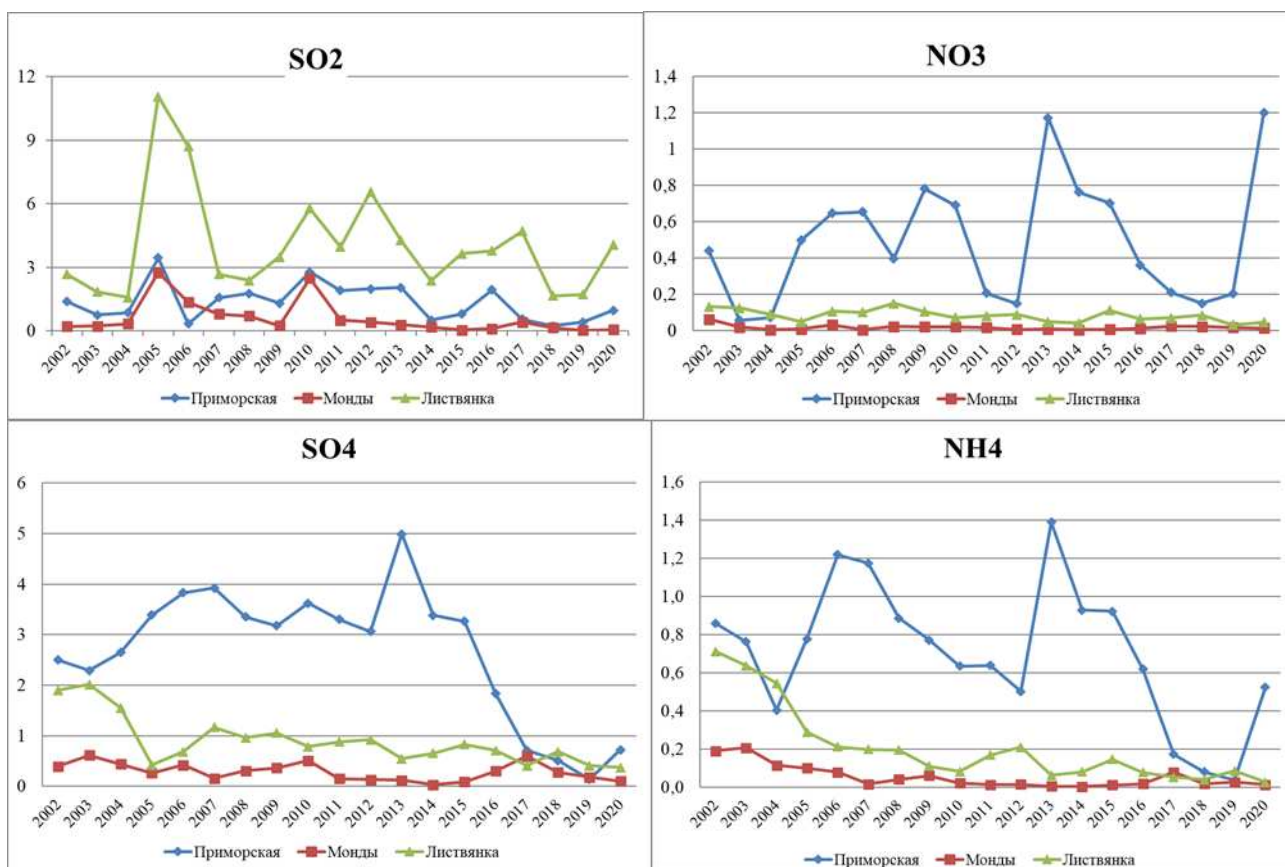


Рис. 1.4.2. Изменения средних годовых концентрации соединений серы (слева) и азота (справа) в воздухе на станциях ЕАНЕТ (мкг/м^3)

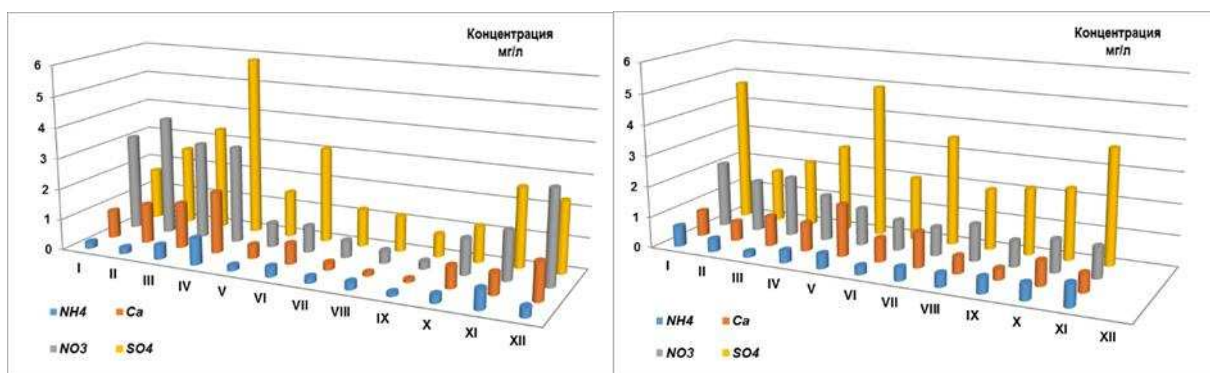


Рис. 1.4.3 (начало). Годовой ход концентраций (верхний) и выпадений (нижний) основных кислотообразующих ионов с осадками в районе оз. Байкал (ст. Листвянка, слева) и на Дальнем Востоке (ст. Приморская, справа) в 2020 г.

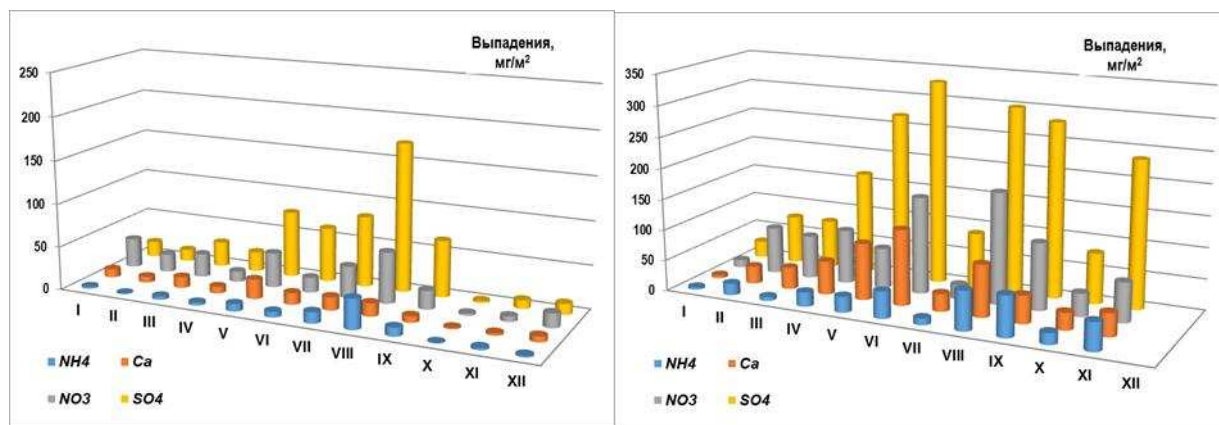


Рис. 1.4.3 (окончание). Годовой ход концентраций (верхний) и выпадений (нижний) основных кислотообразующих ионов с осадками в районе оз. Байкал (ст. Листвянка, слева) и на Дальнем Востоке (ст. Приморская, справа) в 2020 г.

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

Главную роль в формировании трансграничного загрязнения воздуха и осадков играет перенос 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 2020 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 в районах размещения станций оценены реальные величины атмосферных выпадений на земную поверхность (нагрузок) серы и азота, образующих приоритетные кислотообразующие соединения.

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 2020 г. кислые осадки с $\text{pH} < 4$ практически не наблюдались; на всех станциях повторяемость выпадений атмосферных осадков с pH от 5 до 6 превышала 45% (табл. 1.5.1).

Таблица 1.5.1. Кислотность атмосферных осадков в районах расположения российских станций ЕМЕП в 2020 г.

Станция	pH минимальное	pH максимальное	pH среднее	Доля проб в диапазоне pH, %				
				< 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	> 7
Янискоски	4,34	7,76	5,54	0	3	46	48	3
Пинега	4,68	7,62	5,57	0	8	64	27	2
Лесной	4,22	6,83	5,25	0	23	71	6	0
Данки	4,15	7,11	5,40	0	11	61	26	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 2020 г. составила 0,31 мг S /л на станции Янискоски, 0,34 мг S/л на станции Пинега, 0,23 мг S/л на станции Лесной заповедник, 0,36 мг S/л на станции Данки (в районе Приокско-Террасного биосферного заповедника). Наименьшее значение среднегодовой концентрации азота составило 0,06 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) 0,08 – 0,10 мг N/л, а на станции - 0,14 мг N/л. Диапазон варьирования концентраций ионов аммония в осадках составил 0,11 - 0,26 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.

При этом колебания концентраций основных ионов в атмосферных осадках могут быть меньше, чем изменчивость сумм выпадающих осадков, особенно для межгодовых вариаций сезонных и годовых значений.

Рассчитанные по средневзвешенным концентрациям и месячным суммам выпавших осадков величины влажных выпадений для районов станций составили в 2020 г.: 0,19-0,32 и 0,11–0,34 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 отсутствие выраженного уменьшения сумм влажных выпадений за период действия Гетеборгского протокола (подписан в 1999 г.) с незначимыми характеристиками линейного тренда.

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.

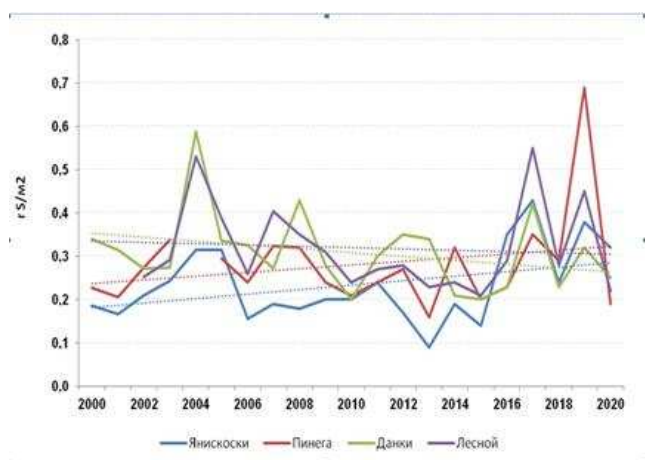


Рис. 1.5.1 . Многолетние выпадения сульфатной серы из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП (г S/m²/год)

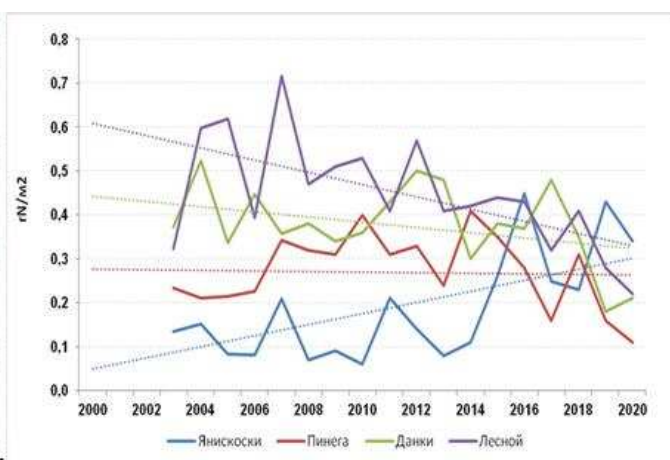


Рис. 1.5.2 . Многолетние выпадения суммарного азота (нитратного и аммонийного) из атмосферы с осадками на станциях ЕМЕП (г N/m²/год)

Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2020 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 2020 г. и критических нагрузок серы и азота в районах расположения российских станций ЕМЕП

Станция	Влажные выпадения и критические нагрузки для серы, г S/m²/год		Влажные выпадения и критические нагрузки для азота, г N/m²/год	
	Выпадения	Нагрузки	Выпадения	Нагрузки
Янискоски	0,32	0,32-0,64	0,34	<0,28
Пинега	0,19	0,32-0,64	0,11	<0,28
Лесной	0,22	1,6-2,4	0,22	0,56-0,98
Данки	0,25	1,6-2,4	0,21	0,56-0,98

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

Сеть мониторинга химического состава снежного покрова (ХССП) начала действовать с 1980 г. на базе снегомерной сети Госкомгидромета.

В настоящее время основными задачами мониторинга ХССП являются: отбор и анализ проб снега и получение исходных данных для определения нагрузок атмосферных выпадений загрязняющих веществ на природную среду; составление карт – схем пространственного распределения нагрузок на территории России; определение кислотно – щелочных характеристик снежного покрова в период образования максимального влагозапаса перед наступлением периода весеннего снеготаяния.

Система мониторинга ХССП поставляет данные как по химическому составу, так и по физическим характеристикам снеговой воды, отобранной на снегомерном маршруте.

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

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

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

Сеть мониторинга химического состава снежного покрова в 23-х УГМС по состоянию на 1 января 2020 г. состояла из 544 снегомерных маршрутов на 523 пунктах наблюдений (ПН), расположенных в 68 субъектах РФ.

В Обзоре представлены данные 165 ПН, в которых сумма концентраций основных ионов (сульфатов, нитратов, аммония, хлоридов, калия, натрия, магния, кальция) в зимний период 2019-2020 гг. не превышала 15 мг/л. (рис. 1.6.1). В Обзоре не учитывались данные ПН с неполным составом ионов, измеренных в лабораториях УГМС, а также с кратковременным периодом залегания устойчивого снежного покрова.

ПН, на которых сумма ионов не превышает фоновых значений, относительно равномерно распределены по территории России. На южных и северо-западных территориях ЕЧР в зимний период 2019-2020 гг. снежный покров либо отсутствовал полностью, либо наблюдался в течении крайне непродолжительного срока, недостаточного для интерпретации данных за весь зимний период. На северных территориях Азиатской части России (АЧР) сеть ПН крайне разрежена. В Камчатском крае и на ближайших к нему территориях, подвергающихся влиянию атмосферных выпадений вследствие вулканической деятельности, сумма концентраций основных ионов стабильно превышает 15 мг/л. Данные мониторинга ХССП на большей части ПН, находящихся вблизи крупных городов и промышленных центров РФ, в зонах трансграничного переноса и в прибрежной зоне показывают сумму ионов выше 15 мг/л. и при анализе также не учитываются.

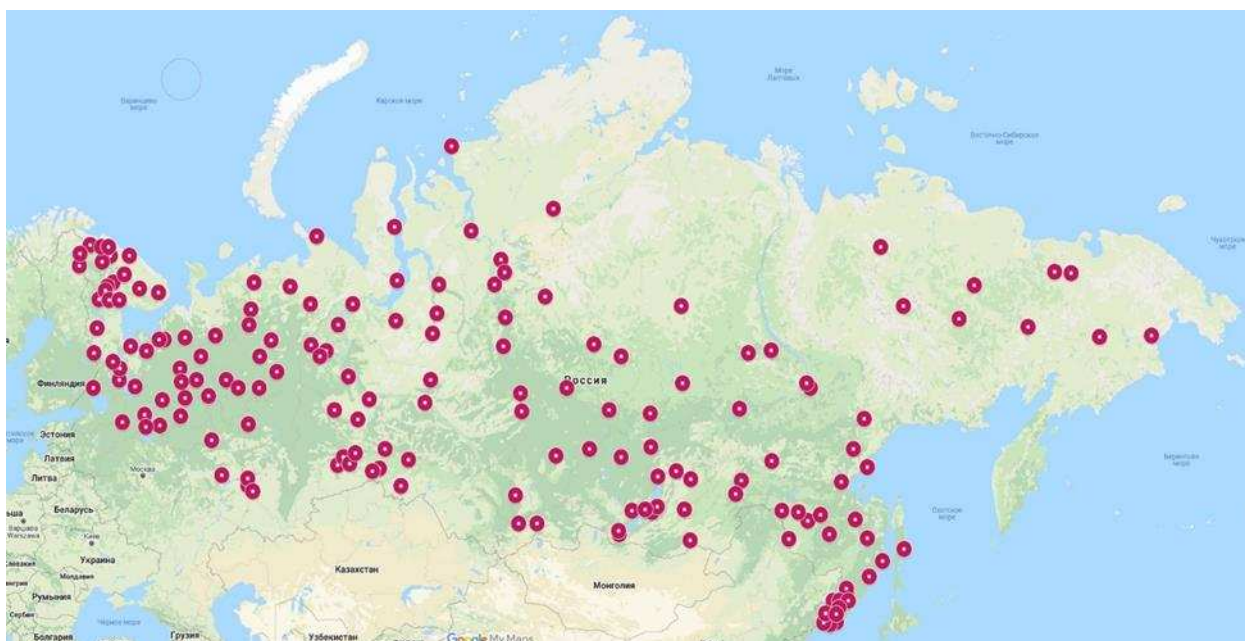


Рис. 1.6.1. ПН с суммой ионов менее 15 мг/л. в зимний период 2019-2020 гг.

Все 165 ПН распределены по территории 25 субъектов РФ, для которых была рассчитана интенсивность выпадения серы и азота, содержащихся в снежном покрове. Это значение рассчитывалась для каждого ПН как произведение концентрации иона и влагозапаса, делённое на время залегания устойчивого снежного покрова, и осреднённое для каждого из субъектов (таблица 1.6.1). Показатели интенсивности выпадения азота на снежный покров были рассчитаны для суммы ионов нитрата и аммония.

В зимний период 2019-2020 гг. большая часть территории страны была подвержена воздействию фоновых и близких к фоновым потоков серы с атмосферными осадками – менее 20 кг/км²·мес. При этом Мурманская (33 кг/км²·мес.) и Курганская (29 кг/км²·мес.) области, Красноярский край (28 кг/км²·мес.) и Республика Хакасия (25 кг/км²·мес.), несмотря на отсев ПН с суммой ионов выше 15 мг/л., показывают повышенную интенсивность выпадения серы на снежный покров.

В зимний период 2019-2020 гг. на 50 % территории РФ показатель интенсивности выпадения азота находится в пределах 10 - 15 кг/км²·мес., а практически для всей территории АЧР характерна интенсивность выпадения азота менее 10 кг/км²·мес.

Исключением является Приморский край (15 кг/км²·мес.) - приграничная территория, являющаяся крупным транспортным узлом международных перевозок и испытывающая значительную антропогенную нагрузку. На ЕЧР самые высокие значения интенсивности выпадения азота среди рассматриваемых в обзоре субъектов РФ показывают регионы, протянувшиеся с севера на юг: Архангельская область (15 кг/км²·мес.), Республика Коми (15 кг/км²·мес.), Кировская область (13 кг/км²·мес.) и Республика Татарстан (13 кг/км²·мес.).

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

Субъект РФ	Кол-во ПН	Интенсивность выпадения на снежный покров, кг/км ² ·мес.	
		Сера	Общий азот
Амурская область	5	6	5
Архангельская область	12	8	15
Бурятия республика	6	5	2
Вологодская область	4	12	10
Забайкальский край	3	3	4
Иркутская область	8	13	7
Карелия республика	8	6	9
Кировская область	2	8	13
Коми республика	8	9	15
Красноярский край	17	28	10
Курганская область	1	29	8
Ленинградская область	1	3	2
Мурманская область	17	33	11
Ненецкий автономный округ	3	11	4
Омская область	3	11	15
Приморский край	13	16	15
Саха (Якутия) республика	13	7	2
Сахалинская область	1	18	2
Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный округ	9	8	11
Татарстан республика	4	12	13
Тюменская область	5	9	13
Хабаровский край	7	9	7
Хакасия республика	2	25	13
Чукотский автономный округ	5	15	6
Ямало-Ненецкий автономный округ	8	9	12

Карта-схема распределения показателя рН в субъектах РФ дана по полным данным 523 ПН мониторинга ХССП в зимний период 2019-2020 гг. (рисунок 1.6.2).

На более чем 80 % территории РФ среднемесячный показатель рН по регионам находился в пределах 5,5 – 6,5 единиц.

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

Показатели рН выше 6,5 на ЕЧР отмечены в Архангельской и Вологодской областях, а на АЧР – в Забайкальском крае и в Чукотском автономном округе.

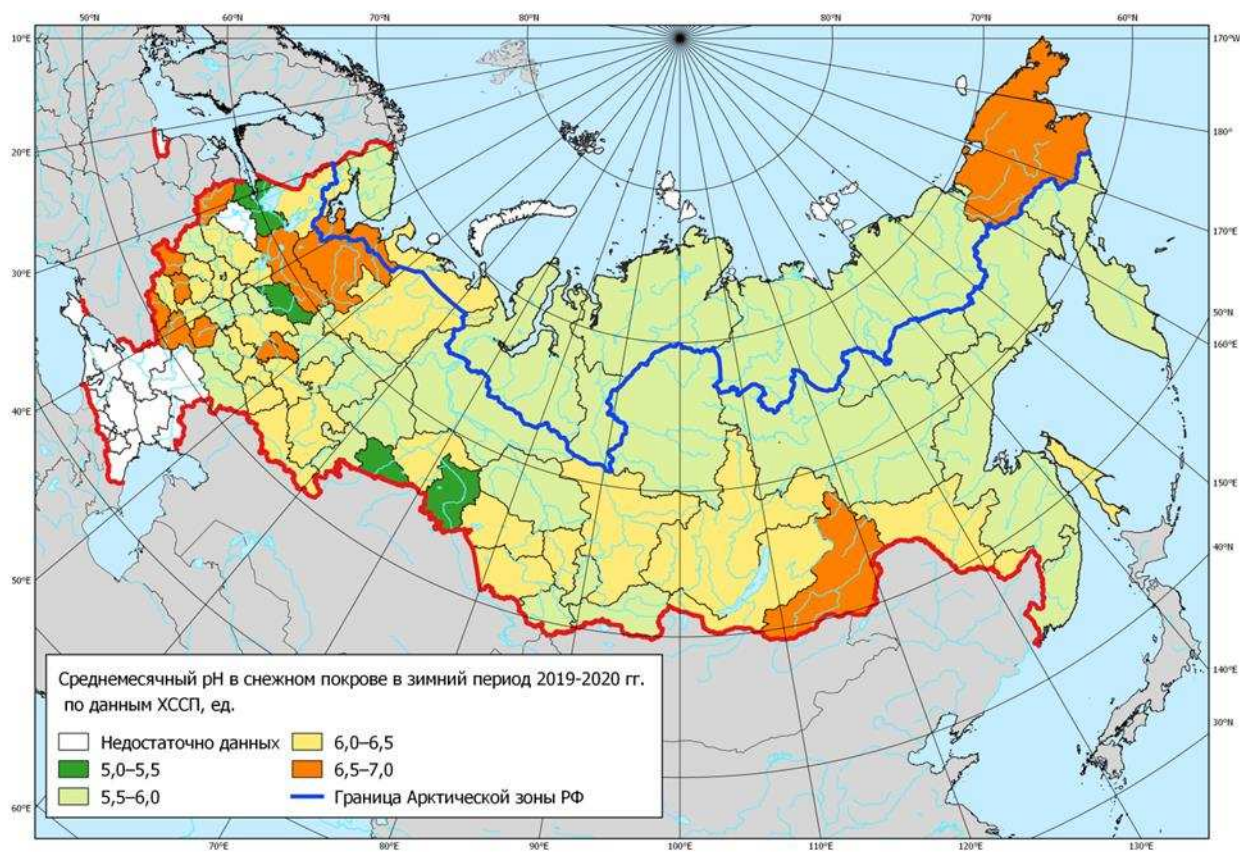


Рис. 1.6.2. рН снежного покрова в 2019 2020 гг.

2. ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

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

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

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



Рис. 2.1.1. Местоположение СКФМ: 1 – НП Смоленское Поозерье, 2 – Приокско-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

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

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

Определяемыми показателями фонового загрязнения почв и растительности СКФМ являются тяжелые металлы – кадмий, свинец, медь (Cd, Pb, Cu), а также стойкие органические вещества – бенз(а)пирен, ДДТ (по сумме изомеров) и ГХГЦ (по изомеру γ-ГХГЦ). При этом, по данным Всемирной организацией здравоохранения, Cd, Pb и особо опасные пестициды входят в список 10-ти самых опасных химических веществ, глобальное рассеяние которых пагубно влияет на здоровье человека и экологическое состояние наземных экосистем.

Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах

За 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 А.П.Виноградовым (1962), З.Ху и С.Гао (2008), Н.А.Григорьевым (2009) (табл. 2.1.1), а также другими исследователями. Регионально повышенный средний уровень содержания соединений свинца в горных бурых лесных почвах Кавказского БЗ обусловлен геохимической специализацией материнских гранито-гнейсовых пород Альпийско-Гималайского складчатого пояса, обогащенных халькофильными и сидерофильными элементами.

Таблица 2.1.1. Средние величины содержания тяжелых металлов и органических загрязнителей в почвах СКФМ за период 2016-2020 гг.

СКФМ	Опробованные почвы	Свинец	Кадмий	Медь	Бенз(а)пирен	сумма- ДДТ	γ- ГХГЦ
		мг / кг			мкг / кг		
Центральный федеральный округ							
НП Смоленское Поозерье	Дерново-подзолистые супесчаные	8,8	0,35	11,9	0,2	≤0,2	≤0,2
Приокско-Террасный БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	4,6	0,64	2,6	0,6	4,5	0,3
Воронежский БЗ	Дерново-подзолистые песчаные	3,4	0,07	1,4	0,9	21,7	10,2
Южный федеральный округ							
Кавказский БЗ	Горные бурые лесные суглинистые	29,0	0,16	15,1	0,2	18,5	0,7
Астраханский БЗ	Аллювиальные луговые и лугово-болотные суглинистые	12,6	0,43	14,5	0,1	2,9	1,3
Приволжский федеральный округ							
Волжско-Камский БЗ	Дерново-подзолистые суглинистые	3,2	0,11	2,6	0,2	35,6	1,0
Сибирский федеральный округ							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Горно-луговые суглинистые	5,4	0,22	8,5	0,5	4,8	0,25
Баргузинский БЗ	Горные мерзлотно-таежные суглинистые	4,9	0,23	6,1	0,5	15,5	1,7
Дальневосточный федеральный округ							
Командорский БР	Подзолы песчаные	5,2	0,17	10,4	0,3	36,0	1,1
ОДК _{вал} *		32 / 65 / 130	0,5 / 1 / 2	33 / 66 / 132	20	100	100
Кларк почв**		16/17/17	0,13/0,06/0,64	47/27/39	-	-	-

* 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 рН_{КС} < 5,5 / близких к нейтральным и нейтральным почвам суглинистого и глинистого состава с рН_{КС} > 5,5 соответственно (утратило силу с 1 марта 2021)

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

Текущие средние уровни накопления в почвах СКФМ соединений свинца, кадмия и меди не превышают величин предельно- и ориентировочно-допустимых концентраций (ПДК и ОДК, соответственно), что характеризует фоновый уровень загрязнения наземных экосистем России как допустимый.

Содержание в почвах СКФМ определяемых стойких органических загрязнителей глобального уровня рассеяния, в основном, характеризует их экологическое состояние как благополучное. Как правило, в поверхностных горизонтах почв выявляются лишь следовые количества поллютантов, которые существенно меньше установленных значений ПДК. Так,

содержание в почвах СКФМ наиболее значимого химического канцерогена органической природы – бенз(а)пирена – на один-два порядка меньше, чем величина его ПДК. Содержание в почвах СКФМ персистентного пестицида ДДТ и его метаболитов в последние годы наблюдений в 3-5 раз ниже установленного ПДК. При определении 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.

Вместе с тем, за последнюю декаду наблюдений в почвах СКФМ регистрируется широкий размах варьирования величин валового содержания тяжелых металлов, при котором максимальные значения определяемых показателей приближаются к значениям ОДК для наиболее широко представленных в почвенном покрове кислых почв суглинистого гранулометрического состава (рис. 2.1.2).

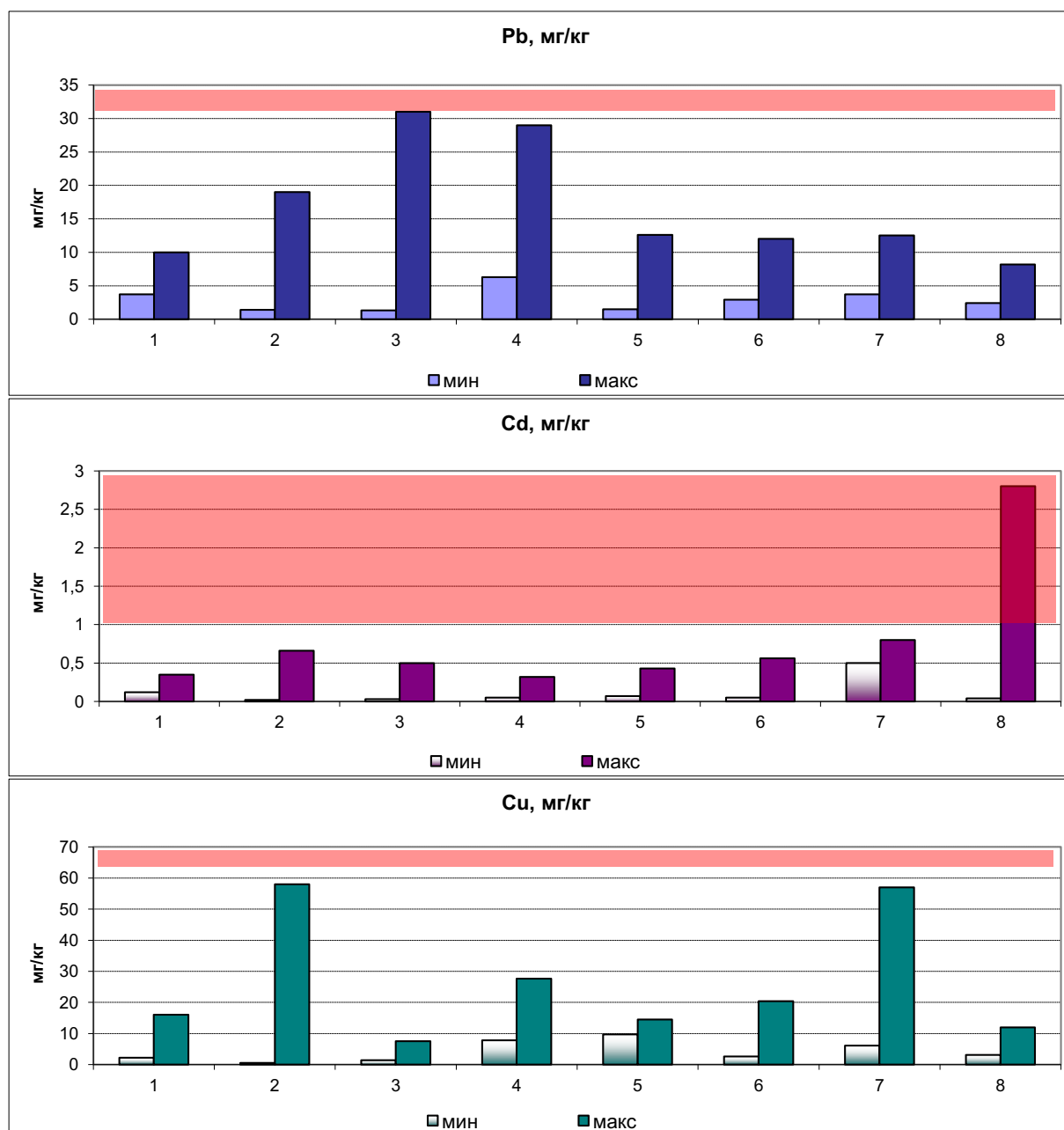


Рис. 2.1.2. Варьирование концентраций тяжелых металлов в почвах СКФМ за период 2010-2020 гг. СКФМ: 1 – НП Смоленское Поозерье, 2 – Приокско-Тerrasный БЗ, 3 – Воронежский БЗ, 4 – Кавказский БЗ, 5 – Астраханский БЗ, 6 – Волжско-Камский БЗ, 7 – Алтайский БЗ (Яйлю), 8 – Баргузинский БЗ. Красными полосами выделены области концентраций, превышающие значения ОДК валовых форм тяжелых металлов в кислых почвах суглинистого гранулометрического состава.

Согласно данным последних сроков наблюдений концентрации соединений свинца, кадмия и меди в поверхностных горизонтах почв СКФМ, как правило, укладываются в диапазоны варьирования показателей, установленных за период с 2010 по 2020 гг. Однако в почвах Астраханского БЗ в последний срок наблюдения зафиксированы максимальные за последнюю декаду концентрации определяемых тяжелых металлов, а в почвах Кавказского БЗ и НП Смоленское Поозерье – максимальные концентрации свинца и кадмия соответственно. Вместе с тем, в почвах Воронежского БЗ отмечаются минимальные за период 2010-2020 гг. концентрации меди.

В отношении загрязняющих веществ органической природы за 10-летний период наблюдений отмечалось лишь единичное содержание бенз(а)пирена, повышенное до 0,9 ПДК, в дерново-подзолистых почвах Воронежского БЗ (рис. 2.1.3), однако, согласно этому случаю, концентрация поллютанта была близка к пределу его обнаружения.

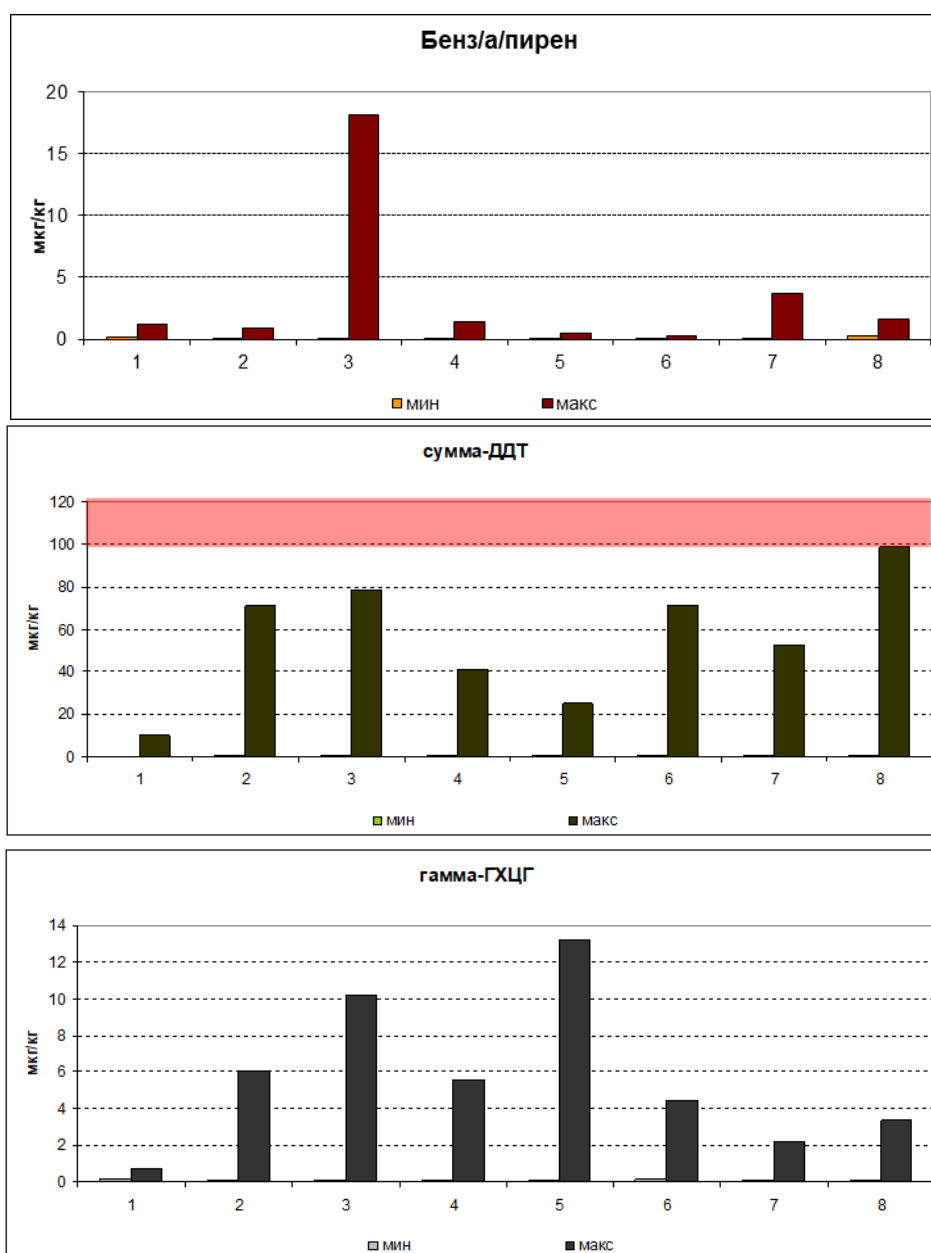


Рис. 2.1.3. Варьирование концентраций органических загрязнителей в почвах СКФМ за период 2010-2020 гг. СКФМ: 1 – НП Смоленское Поозерье, 2 – Приокско-Тerrasный БЗ, 3 – Воронежский БЗ, 4 – Кавказский БЗ, 5 – Астраханский БЗ, 6 – Волжско-Камский БЗ, 7 – Алтайский БЗ (Яйлю), 8 – Баргузинский БЗ. Красными полосами выделены области концентраций, превышающие значения ПДК.

В 2020 году были проведены измерения содержания массовой доли нефтепродуктов в пробах почв, полученных с территории Приокско-Террасного и Кавказского государственных природных биосферных заповедников, охранный зоны Пинежского государственного природного заповедника и заповедника «Пасвик».

Пробоотбор почв осуществлялся методом «конверта» согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017 с глубины 0–10 см. Определение массовой доли нефтепродуктов в почве выполнялось гравиметрическим (весовым) методом согласно РД 52.18.647-2003. Все почвенные образцы характеризовались низким содержанием нефтепродуктов. Так для Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника массовая доля нефтепродуктов составляла 9,41 мг/кг, для Кавказского государственного природного биосферного заповедник – 28,68 мг/кг, для охранный зоны Пинежского государственного природного заповедника – 69,57 мг/кг, а для охранный зоны заповедника «Пасвик» – 18,21 мг/кг.

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. После перехода загрязняющих веществ в почву растения накапливают в своих тканях и те экотоксиканты, которые поступают в них путем корневого поглощения при процессах минерального питания. Таким образом, общее депонирование загрязняющих веществ в растительности служит важной характеристикой экологического состояния наземных экосистем.

За период наблюдений 2010-2020 гг., включая последний срок опробования, визуальное обследование состояния фитоценозов СКФМ не выявило видимых признаков нарушений роста и развития растений, которые могли бы отражать интенсификацию загрязнения окружающей среды.

Содержание определяемых тяжелых металлов и органических загрязнителей в зеленых частях основных видов растений древесного, травянистого и мохового ярусов СКФМ в целом отвечает характеристикам природного фона и находится в более узких пределах колебаний, чем в почвах, что отражает роль почв как буфера миграционных потоков загрязняющих веществ, предотвращающего их переход в сопредельные среды (табл. 2.1.2).

По сравнению с кларковыми значениями содержания тяжелых металлов в растительности суши, оцененными А.П.Виноградовым (1962), в настоящее время заметно увеличение в растительности СКФМ средних уровней содержания свинца, меди и особенно кадмия. Средние концентрации последнего максимальны в хвое сосны и листьях березы СКФМ Воронежского БЗ, а также в листьях ветлы на площадке СКФМ Астраханского БЗ. При этом существенное превышение измеренных на всех СКФМ абсолютных величин содержания элемента в растениях над его кларковым значением в живом веществе 0,01 мг/кг (Виноградов, 1962) может свидетельствовать о тренде расширения техногенного потока кадмия в последнюю декаду наблюдений.

Загрязняющие вещества органической природы, в отличие от тяжелых металлов, накапливаются в растительности СКФМ в незначительных количествах. Лишь повышенные остаточные концентрации ДДТ и его метаболитов в растительности площадок СКФМ древесного и травянистого ярусов Астраханского БЗ, а также в мохового яруса Волжско-Камского БЗ могут свидетельствовать о длительности эффектов применения этого препарата в Южном и Приволжском федеральных округах. Помимо этого, спорадическое увеличение остаточных количеств ДДТ и его метаболитов в растительности фоновых территорий может определяться спецификой биоклиматических особенностей вегетации в годы наблюдений, а также пространственной неоднородностью распределения поллютантов в наземных экосистемах.

Другие загрязнители органической природы – как бенз(а)пирен, так и γ -ГХГЦ – отмечаются в растительности всех СКФМ лишь в незначительных количествах.

Таблица 2.1.2. Средние концентрации тяжелых металлов и органических загрязнителей в растительности СКФМ в период 2016-2020 гг. (на единицу абсолютно сухой массы растений)

Станция КФМ	Проба	Свинец	Кадмий	Медь	Бенз(а)пирен	сумма- ДДТ	γ-ГХГЦ
		мг / кг			мкг / кг		
Центральный федеральный округ							
НП Смоленское Поозерье	Осина, листья	1,2	0,90	5,3	0,03	1,1	≤0,05
	Липа, листья	3,4	0,39	9,2	0,03	-	-
	Черника, листья	0,3	0,22	8,0	0,13	11,0	1,0
	Мох	4,0	0,90	4,3	0,14	7,1	1,7
Приокско-Террасный БЗ	Береза, листья	7,3	0,46	2,8	0,36	3,7	1,7
	Разнотравье	1,0	0,32	5,0	0,58	54,4	2,4
Воронежский БЗ	Сосна, хвоя	6,2	3,00	0,4	0,40	37,3	2,4
	Береза, листья	2,1	4,80	6,0			
	Черника, листья	2,2	0,48	3,1			
	Осока	1,8	1,10	2,5			
	Разнотравье	3,0	1,12	2,4			
	Мох	10,3	0,90	-			
Южный федеральный округ							
Кавказский БЗ	Разнотравье	1,1	0,92	24,6	0,54	24,8	0,3
Астраханский БЗ	Ясень, листья	1,0	3,10	3,2	0,20	118,3	0,7
	Ветла, листья	0,6	29,70	5,6	0,18	4,4	0,5
	Тростник	0,6	0,92	4,1	0,37	18,0	нпо
	Ежевика	0,7	3,50	5,5	0,19	28,2	нпо
Приволжский федеральный округ							
Волжско-Камский БЗ	Сосна, хвоя	2,5	0,40	4,2	0,25	12,0	4,0
	Клен, листья	1,9	1,80	3,8			
	Рябина, листья	1,2	1,80	7,0			
	Черника, листья	0,8	1,40	5,2	0,07	3,0	2,0
	Разнотравье	3,0	1,50	3,5			
	Мох	37,0	0,80	5,0			
				0,10			
Сибирский федеральный округ							
Алтайский БЗ (Яйлю)	Разнотравье	0,8	1,50	4,0			
Баргузинский БЗ	Листва деревьев	0,5	0,60	2,3	0,25	3,4	1,5
	Кедр, хвоя	0,7	0,30	1,9	0,35	13,0	3,4
	Разнотравье	0,7	0,15	1,9	0,33	-	-
	Мох	2,2	0,60	2,7			
	Дальневосточный федеральный округ						
Командорский БР	Рододендрон	0,5	0,10	4,0	-	-	-
Кларк растений		0,1	0,01	2	-	-	-

* - нет данных

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

Концентрации тяжелых металлов и органических загрязняющих веществ в разных видах растений СКФМ сильно варьируют по годам наблюдений, а также в зависимости от биологических особенностей самих растений (рис. 2.1.4).

Как правило, концентрации тяжелых металлов в листьях и хвое деревьев имеют как более выраженный диапазон определяемых показателей, так и характеризуются максимальными параметрами, зафиксированными за последнюю декаду наблюдений. Экстремальные увеличения содержания тяжелых металлов в растительности древесного яруса фиксируются на территории СКФМ Астраханского БЗ. Там же существенно увеличены количественные параметры максимальной аккумуляции свинца, кадмия и меди в растительности травянистого напочвенного покрова. В совокупности этот факт может отражать высокую антропогенную нагрузку на наземные экосистемы региона, как существующую в настоящее время, так и являющуюся результатом долговременного накопления тяжелых металлов за индустриальный период.

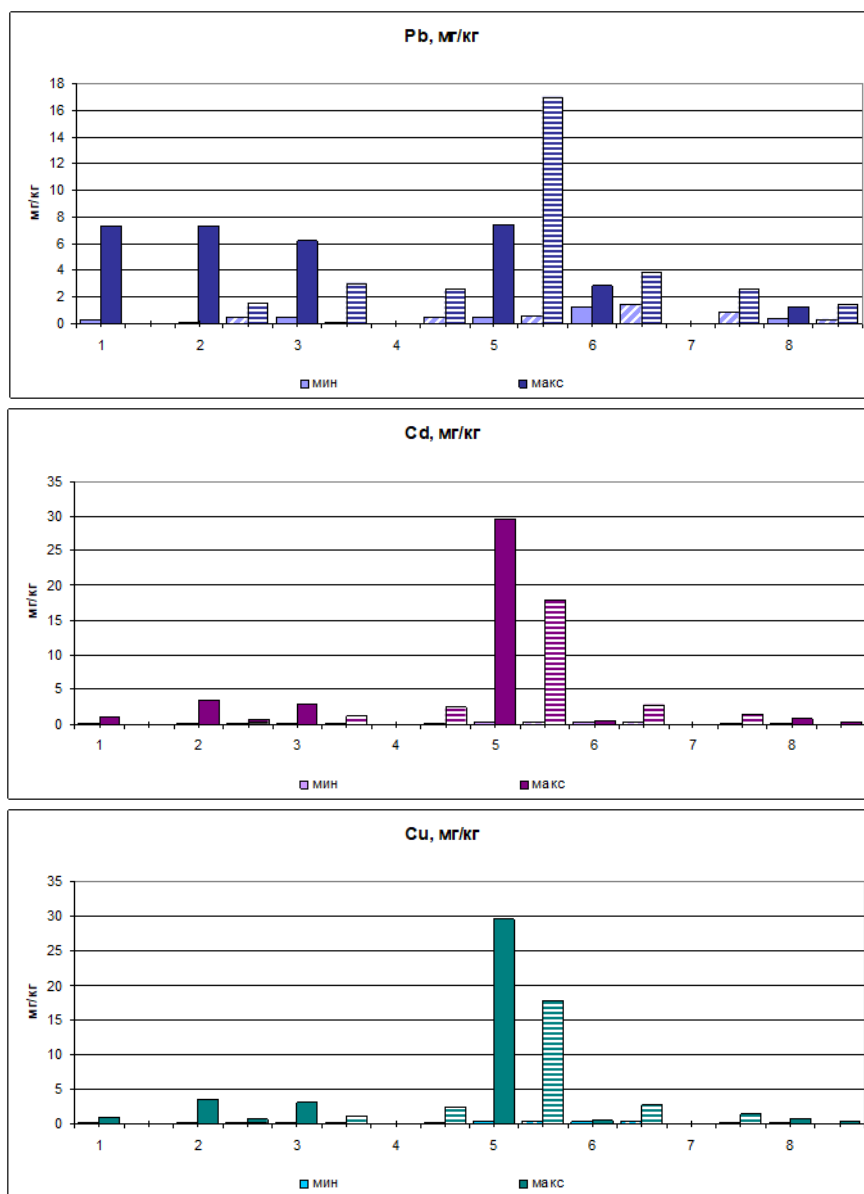


Рис. 2.1.4. Варьирование концентраций тяжелых металлов в листе и хвое древесного яруса (столбики без штриховки) и напочвенном травянистом покрове (столбики со штриховкой) СКФМ за период 2010-2020 гг. СКФМ: 1 – НП Смоленское Поозерье, 2 – Приокско-Тerrasный БЗ, 3 – Воронежский БЗ, 4 – Кавказский БЗ, 5 – Астраханский БЗ, 6 – Волжско-Камский БЗ, 7 – Алтайский БЗ (Яйлю), 8 – Баргузинский БЗ.

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

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

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

В 2020 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, Чувашской; 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, Самарской и Свердловской областей.

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

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Нитраты	Фтор
Сибирский федеральный округ				
Западная Сибирь Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995-2020	<u>2,0-36,5</u> 13,7	<u>0,2-4,1</u> 4,1
Кемерово, д. Калинкино ЮЮЗ 55 км от ГРЭС	Серая лесная	1995-2020	<u>3,2-87,5</u> 3,2	<u>0,4-3,5</u> 0,6
г. Новокузнецк, пос. Сарбала ЮЮВ 32 км от ГРЭС	Подзолистые	1995-2020	<u>3,8-24,6</u> 7,6	<u>0,2-9,5</u> <1,0
г. Томск, с. Ярское Ю 43 км от ГРЭС-2		2001-2020	<u>1,5-156,7</u> 156,7	<u>0,3-3,8</u> 1,0
Приволжский федеральный округ				
Самарская область Волжский район НПП «Самарская Лука» З 30 км от г. Самара	Чернозёмы	2006-2020	<u>1-47</u> 2,1	<u>0,2-3,3</u> 0,3
Волжский район АГМС п. Агрос ЮЗ 20 км от г. Самара		2006-2020	<u>0,7-36</u> 31,9	<u>0,8-4,1</u> 1,0
Уральский федеральный округ				
Свердловская область п. Мариинск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Подзолистые	1999-2020	<u>0,2-13,2</u> <2,8	—

Примечание: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2020 г.

Данные, представленные в табл. 2.2.1, демонстрируют значительные колебания содержания в почвах нитратов и фтора за рассматриваемый период. Следует отметить, что в 2020 г. на территории фоновой площадки с. Ярское Томской области было зафиксировано максимальное за весь период наблюдения (2001-2020 гг.) содержание нитратов в почве на

уровне 1,2 ПДК (157 мг/кг), тогда как в предыдущие годы наблюдений концентрация нитратов изменялась в диапазоне 1,5–49 мг/кг. В целом, несмотря на варьирование содержания вышеуказанных химических веществ, превышение допустимых гигиеническими нормативами значений выявляется в единичных случаях.

В 2020 г. продолжились наблюдения за выпадениями фтора на снежный покров Братского района Иркутской области. Плотность выпадений соединений фтора на фоновой площадке в районе г. Братска за пятилетний период 2016–2020 гг. изменялась в диапазоне 1,2–11,1 кг/км²·мес., причем в последние два года наблюдений плотность выпадений увеличилась в 2 раза по сравнению с периодом 2016–2018 гг. По данным наблюдений 2016–2020 гг. плотность атмосферных выпадений фторидов на фоновой площадке п. Листвянка Иркутской области варьировала в диапазоне 0,46–2,41 кг/км²·мес. и в 2020 г. снизилась в 1,7 раза по сравнению с 2019 г.

Массовые доли кислоторастворимых форм кадмия, меди, свинца, цинка и НП в почвах фоновых площадок на территории отдельных регионов Российской Федерации представлены в табл. 2.2.2. Данные многолетних наблюдений демонстрируют, что, несмотря на варьирование содержания ТПП в почвах фоновых площадок за весь период наблюдения, превышение допустимых гигиеническими нормативами значений выявляется редко.

Результаты обследований, проведенных с 1999 по 2020 гг. в районе п. Мариинск Свердловской области, показали, что в подзолистых почвах фоновые массовые доли подвижных форм хрома изменяются от 0,5 до 1,9 мг/кг (кислоторастворимых форм хрома – от 19 до 117 мг/кг), свинца – от 1,2 до 19 мг/кг, марганца – от 30 до 485 мг/кг, никеля – от 0,2 до 5,0 мг/кг, цинка – от 1,6 до 137 мг/кг, меди – от 0,5 до 25 мг/кг, кобальта – от < 0,01 до 2,5 мг/кг, кадмия – от < 0,01 до 1,1 мг/кг.

В районе г. Артемовский Свердловской области (на расстоянии 120 км в северо-восточном направлении от г. Екатеринбурга) за период 2010–2020 гг. содержание подвижных форм свинца в подзолистых почвах изменялось в диапазоне 1,7–7,5 мг/кг, хрома – от 1,0 до 1,9 мг/кг, марганца – от 42 до 173 мг/кг, никеля – от 2,7 до 5,7 мг/кг, цинка – от 1,7 до 2,7 мг/кг, меди – от 0,3 до 1,1 мг/кг, кобальта – от 0,3 до 1,1 мг/кг, кадмия – от 0,1 до 0,2 мг/кг. На территории Приморского края в 2020 г. содержание подвижных форм ТМ в почве определялось на фоновых площадках вблизи пгт. Лучегорска и г. Дальнереченска. В почве фонового участка в районе пгт. Лучегорска концентрация кадмия составила 0,4 мг/кг, никеля – 0,7 мг/кг, цинка – 3,3 мг/кг, марганца – 114 мг/кг. В почве фоновой площадки г. Дальнереченска содержание свинца было выявлено на уровне 1,4 мг/кг, меди – 0,6 мг/кг, кадмия – 0,1 мг/кг, никеля – 0,1 мг/кг, цинка – 5,8 мг/кг, марганца – 57,3 мг/кг. В г. Дзержинск Нижегородской области значения массовых долей подвижных форм ТМ в почвах фонового участка следующие: меди – 0,1 мг/кг, никеля – < 1,0 мг/кг, свинца – < 0,4 мг/кг, цинка – < 1,0 мг/кг, кадмия – < 0,1 мг/кг, кобальта – 0,1 мг/кг. Почвы фоновой площадки в районе г. Ижевск Удмуртской Республики содержали меди < 0,1 мг/кг, никеля – < 1,1 мг/кг, свинца – < 0,4 мг/кг, цинка – < 1,0 мг/кг, кадмия – < 0,1 мг/кг, кобальта – < 0,1 мг/кг.

В 2020 г. на территории Азовского района Омской области, выбранного в качестве фонового на основании данных о розе ветров для г. Омска, было проведено обследование загрязнения почв нефтепродуктами с целью установления значения регионального фона. Наблюдение показало, что в 80% проб концентрация НП изменялась от 19 до 146 мг/кг, среднее

значение составило 62,5 мг/кг, а стандартное отклонение 26,6 мг/кг. При этом в 5% проб содержание НП варьировало от 170 до 300 мг/кг, в 10% проб – от 300 до 700 мг/кг, а в 4% – от 700 до 1200 мг/кг. Повышенное содержание НП в почве Азовского района, вероятно, связано с антропогенным загрязнением почвы.

Таблица 2.2.2. Массовые доли валовых (или кислоторастворимых) форм кадмия, меди, свинца, цинка и НП, мг/кг, в почвах фоновых площадок на территории Российской Федерации

Место наблюдений	Тип почв	Год наблюдений	Cd	Cu	Pb	Zn	НП
Центральный федеральный округ							
Московская область Мытищинский район	Дерново-подзолистые	2020	0,3	21,4	9,2	39,6	–
Сибирский федеральный округ							
Западная Сибирь г. Кемерово д. Калинкино ЮЮЗ 55 км от ГРЭС	Серые лесные	1995-2020	$\frac{<0,1-6,3}{0,44}$	$\frac{4-41}{19,1}$	$\frac{5-31}{15,8}$	$\frac{18-169}{64,2}$	$\frac{6-110}{54,1}$
г. Новокузнецк пос. Сарбала ЮЮВ 32 км от ГРЭС	Подзолистые	1995-2020	$\frac{<0,1-1,3}{0,21}$	$\frac{3,0-27}{17,9}$	$\frac{7,0-25}{16,0}$	$\frac{11,0-133}{66,1}$	$\frac{36-510}{73,6}$
Западная Сибирь г. Новосибирск с. Прокудское	Подзолистые	1995-2020	$\frac{<0,1-3,0}{1,3}$	$\frac{3-30}{11,2}$	$\frac{1,6-40}{13,0}$	$\frac{5-129}{41,7}$	$\frac{9-264}{133}$
г. Томск, с. Ярское Ю 43 км от ГРЭС-2	Подзолистые	2001-2020	$\frac{<0,1-0,9}{0,9}$	$\frac{2-21,3}{14,4}$	$\frac{4,1-27}{15,7}$	$\frac{22-200}{71,9}$	$\frac{20-296}{182,5}$
Иркутская область г. Иркутск	Серые лесные	2004, 2011, 2015, 2020	$\frac{0,07-0,7}{-}$	$\frac{26-45}{28,0}$	$\frac{16-56}{17,1}$	$\frac{82-107}{51,8}$	–
г. Шелехов с. Смоленщина ССВ 9 км	Серые лесные	1999, 2006, 2020	–	$\frac{17-37}{13,2}$	$\frac{14-26}{12,5}$	$\frac{45-62}{20,0}$	–
Дальневосточный федеральный округ							
Приморский край г. Дальнереченск	Луговые глеевые	1983, 1988, 2020	$\frac{0,25}{-}$	$\frac{9,8-13}{9,8}$	$\frac{11,4-23}{11,4}$	$\frac{52-89}{89}$	–
пгт. Лучегорск	Луговые глеевые	1983, 1992, 2020	$\frac{0,07-0,25}{0,07}$	$\frac{7-13}{7}$	$\frac{9,7-23}{9,7}$	$\frac{41,2-52}{41,2}$	–
Уральский федеральный округ							
Свердловская область п. Маринск ЮЗ 54 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	1999-2020	$\frac{0,5-2,2}{0,5}$	$\frac{15-281}{97,5}$	$\frac{7,0-137}{23,8}$	$\frac{44-213}{95,3}$	–
г. Артемовский СВ 120 км от г. Екатеринбург	Дерново-подзолистые	2010, 2015, 2020	$\frac{0,3-1,4}{0,3}$	$\frac{24-37}{37}$	$\frac{14-17}{14}$	$\frac{57-84}{84}$	–
Приволжский федеральный округ							
Нижегородская область г. Дзержинск территория городского округа г. Дзержинска	Дерново-подзолистые	2013, 2018- 2020	$\frac{<0,5-4,0}{<0,5}$	$\frac{5-13}{6}$	$\frac{<5-11}{<5}$	$\frac{16-49}{16}$	$\frac{32-98}{37}$
Самарская область НПП «Самарская Лука» 3 30 км от г. Самара	Черноземы	2006-2020	$\frac{0,2-2,8}{0,2}$	$\frac{7-118}{18,4}$	$\frac{8-88}{17,5}$	$\frac{35-219}{59,0}$	$\frac{9-175}{63,5}$
АГМС п. Агрос ЮЗ 20 км от г. Самара			$\frac{0,1-2,5}{0,3}$	$\frac{8-55}{31,8}$	$\frac{1-21}{12,4}$	$\frac{31-271}{66,5}$	$\frac{2,4-32,7}{30,4}$
Удмуртская Республика В 20 км от г. Ижевск	Дерново-подзолистые	2006-2020	$\frac{<0,5-4,0}{<0,5}$	$\frac{7-48}{21}$	$\frac{5-130}{5}$	$\frac{18-191}{40}$	$\frac{26-73}{57}$
Республика Татарстан г. Казань СЗ 20 км	Дерново-подзолистые	2008-2020	$\frac{0,1-0,5}{0,2}$	$\frac{1,2-11}{5,3}$	$\frac{3-18}{6,7}$	$\frac{9,3-180}{31,9}$	$\frac{2,3-96}{23,8}$
г. Нижнекамск г. Набережные Челны СВ, Национальный парк «Нижняя Кама»		2008-2020	$\frac{0,1-1,0}{0,1}$	$\frac{5-28}{9,5}$	$\frac{2,3-22}{5,4}$	$\frac{17-70}{30}$	$\frac{15-150}{20,3}$
Республика Башкортостан г. Баймак СЗ 19 км от АО «БЛМЗ»	Типичные черноземы	2005, 2011, 2020	$\frac{0,1-0,3}{0,1}$	$\frac{27-51}{51}$	$\frac{17-21}{17}$	$\frac{60-140}{63}$	–
г. Сибай Ю 18 км от СФ АО «УГОК»	Дерново-подзолистые	2005, 2011, 2020	$\frac{0,3-0,5}{0,5}$	$\frac{25-40}{40}$	$\frac{16-22}{16}$	$\frac{60-140}{60}$	–

Примечание: в знаменателе указаны результаты наблюдений 2020 г.

В 2020 г. содержание сульфатов измерялись в почвах фоновых площадок пгт. Лучегорска (13,3 мг/кг) и г. Дальнереченска (10,9 мг/кг) Приморского края, НПП «Самарская Лука» (86,2 мг/кг) и АГМС п. Аглос (134,2 мг/кг) Самарской области, а также в городах Иркутск (4,1 мг/кг) и Шелехов (4,0 мг/кг) Иркутской области. Несмотря на значительные колебания содержания сульфатов и нитратов в почве АГМС АГЛОС в период наблюдения 2015-2020 гг. не было выявлено превышения допустимых гигиеническими нормативами значений.

Концентрация БП в 2020 г. определялась в почвах фоновых участков пгт. Лучегорска и г. Дальнереченска Приморского края. Фоновые значения содержания БП в почве вышеуказанных населенных пунктов не превышали 0,005 мг/кг.

В большинстве регионов значения массовых долей ТПП в почвах варьируют в определённых пределах, зависящих от природной неоднородности почв, сохраняясь в среднем за период наблюдений примерно на одном уровне. Отдельные высокие значения фоновых массовых долей химических веществ в почвах регистрируются 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. Статистически достоверного накопления ТПП в почвах фоновых площадок за период наблюдений не отмечено.

2.3. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ПО ПОДПРОГРАММЕ «РАСТИТЕЛЬНОСТЬ» МЕЖДУНАРОДНОЙ СОВМЕСТНОЙ ПРОГРАММЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА В ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

На базе станции комплексного фонового мониторинга, действующей с 1987г. по 1995 г., в Центральном-Лесном государственном природном биосферном заповеднике Нелидовского района Тверской области в настоящее время проводятся исследования в рамках международной совместной программы комплексного мониторинга воздействий загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) Европейской экономической комиссии ООН (ЕЭК ООН). По программе МСП КМ ежегодно выполняется подпрограмма FD (Forest damage) - повреждение лесов.

В целях расширения программы МСП КМ проведено исследование водораздельной поверхности, с целью выявления репрезентативного зонального сообщества для дальнейшего заложения постоянных площадей наблюдения (ППН) для проведения подпрограммы VG – Растительность, основной целью которой является регистрация отклика растительного сообщества или отдельных видов растений на изменения в выпадениях загрязняющих веществ или других факторов, например, изменение климата.

Для территории заповедника, расположенной в южной тайге, в пределах мезорельефа характерно сочетание ельников кисличников с участием неморальных видов на водораздельной поверхности со сфагновыми или сосново-сфагновыми болотами в понижениях рельефа и с речными долинами. Еловые леса с бореальными видами, без участия неморальной флоры, представлены в широких полосах окружающих болотные массивы. В структуре крупных болотных массивов преобладающий сфагновый покров (осоково-сфагновый, кустарничково-сфагновый) по краям сменяется полосой заболоченных сфагновых сосняков, переходящих в прилегающую к верховому болоту полосу (окраину болотного массива) ельников сфагновых и ельников зеленомошников с бореальными видами. Небольшие водораздельные сосновые осоково-сфагновые болота непосредственно расположены в окружении полосы бореальных ельников зеленомошных и сфагновых.

Для выявления репрезентативного зонального растительного сообщества в целях МСП КМ “определения и прогнозирования состояния и изменений наземных и пресноводных экосистем в долгосрочной перспективе под воздействием загрязнения воздуха” проведено геоботаническое обследование территории небольшого водосбора от реки Межа до водораздельного межморенного понижения, что согласуется с требованиями МСП КМ. Заложены 2 ППН (ППН №3 и ППН №4) в характерных структурах мезорельефа.

ППН №3 разбита в сосняке заболоченном на окраине обширного водораздельного осоково-сфагнового верхового болота, растительность которой выявляет колебания увлажненности заповедной территории, так как верховые болота с прилегающими территориями составляют единое целое. Изменение увлажненности территории и связанные с ней параметры абиотической среды могут приводить к ослаблению древостоя и растительности, что необходимо учитывать при оценке состояния растительности в результате воздействия загрязнения. ППН №4 заложена в ельнике зеленомошно-сфагновом, расположенном в полосе окружающей небольшое сосново-осоково-сфагновое болото в межморенном понижении водораздельной поверхности.

Растительность ППН отражает состояние еловых бореальных лесов, которые на границе своего распространения особенно чувствительны к загрязнению и климатическим колебаниям.

ППН № 3 расположена в заболоченном сосняке редкостойном пушицево-очеретниково-кустарничково-сфагновом (*Rhynchospora alba*, *Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus microcarpus*, *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum balticum*, *Sphagnum fallax*), на окраине характерного обширного верхового болотного массива Старосельский мох, с глубиной торфа 1м и уровнем вод на глубине 22 см (данные Ю.Г.Пузаченко, М.Ю.Пузаченко). На ППН № 3 проведено геоботаническое описание вертикальной и горизонтальной структуры растительности. Горизонтальная структура растительного покрова отражена на карто-схеме (рис.2.3.1.а) и представлена преобладанием подбелово-пушицево-очередниково-сфагновых понижений (55%) в сочетании с фрагментами приствольных кочковых возвышений (45%) - клюквенно-пушицево-сфагновых с древостоем из сосны обыкновенной формы Литвинова.

На ППН № 4 разбитой в еловом осоково-чернично-зеленомошно-сфагновом лесу (*Vaccinium myrtillus*, *Carex globularis*, *Sphagnum girgensohnii*, *Pleurozium schreberi*) проведено геоботаническое описание вертикальной (по ярусам) и горизонтальной структуры растительности. Составлена карта-схема горизонтальной структуры с древостоем (с учетом возобновления и вывала древостоя). Горизонтальная структура растительного покрова (рис.2.3.1.б) отражена на карто-схеме (1:100, в 1см:1м) и представлена преобладанием осоково-чернично-сфагнового покрова (60%) в сочетании с чернично-зеленомошными приствольными возвышениями.

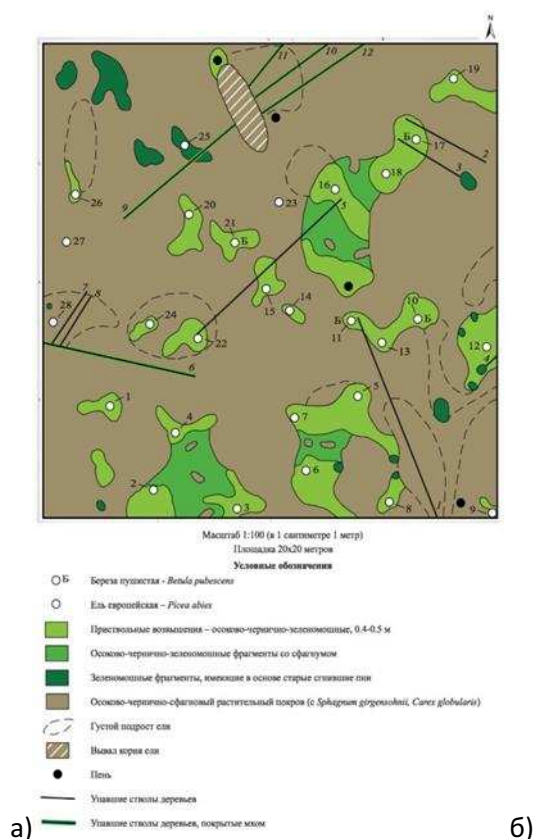
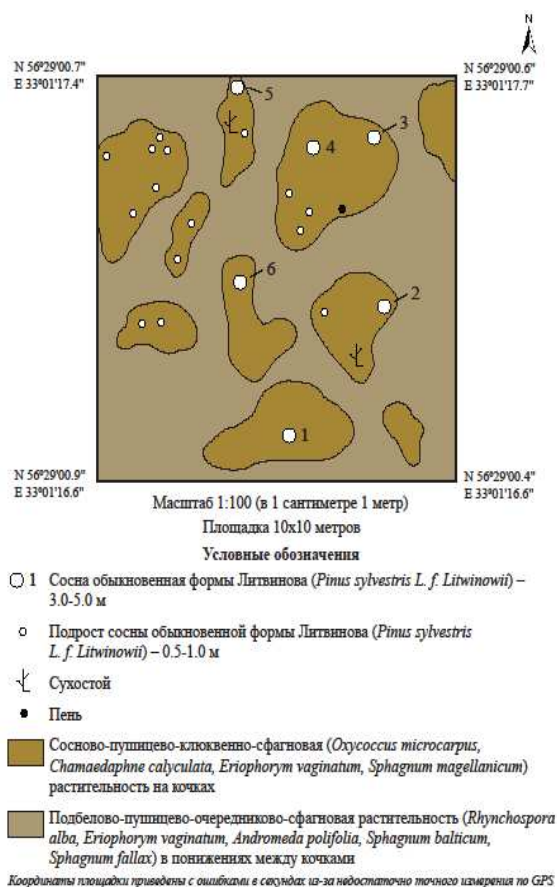


Рис.2.3.1. Карта-схема горизонтальной структуры травяно-кустарничкового яруса и древостоя ППН №3 и ППН №4

В результате проведенного обследования выявлено, что на водораздельной поверхности представлены производные (вторичные) еловые неморально-бореальные леса с разреженным I ярусом древостоя (сомкнутость крон 02-03, из ели, березы и осины), более сомкнутым II ярусом древостоя (04-06 с широколиственными породами – клен, липа), преобладанием кислицы в травяно-кустарничковом ярусе и широким участием неморальных видов. В возобновлении древостоя активность ели в неморально-бореальных ельниках на водораздельной поверхности снижена по сравнению с возобновлением в ельниках сфагновых по окраинам болотных массивов. В пологе и подросте в этих лесах преобладает ель с незначительным участием видов широколиственного древостоя (клен, липа, вяз, единичен дуб), во всходах отмечается незначительное преобладание клена (рис.2.3.2). Практически отсутствует возобновление березы.

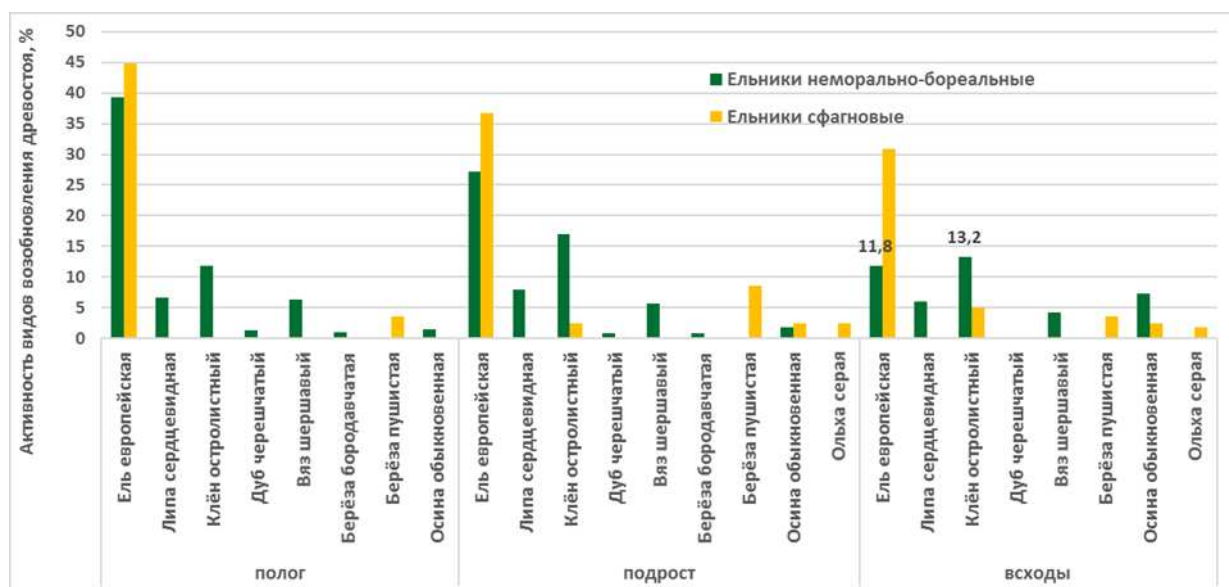


Рис.2.3.2. Активность видов возобновления древостоя в пологе, подросте и всходах на водораздельной поверхности во вторичных ельниках неморально-бореальных и на окраинах болотных массивов в ельниках сфагновых.

На водораздельной поверхности в ельниках неморально-бореальных в результате значительной нарушенности биотопа древесные породы утратили свое значение ценозообразователей и структура травяно-кустарничкового яруса не зависит от преобладания древостоя. Количество бореальных и неморальных видов эколого-ценотических групп в лесах с преобладанием ели и березы практически равнозначно (Рис.2.3.3). Коэффициент общности Жаккара при сравнении лесов с преобладанием березы и лесов с преобладанием ели составляет 64%.

В лесах с преобладанием березы и в лесах с преобладанием ели отмечается относительно однородная активность видов (активность вида - $A = \sqrt{c} * d * 100$, где c – среднее проективное покрытие вида, d – средняя встречаемость вида). В еловых лесах по активности преобладает кислица обыкновенной 70% (Рис. 2.3.4). Наибольшая активность отмечена у кислицы обыкновенной (70%, 61,3%) и щитовника широкого (59,5%, 64,9%) из таежного высокотравья. Далее со сниженной активностью следуют черника (17,2%, 24%) и звездчатка жестколистная (25,9%, 23,7%) – представитель неморальной флоры.

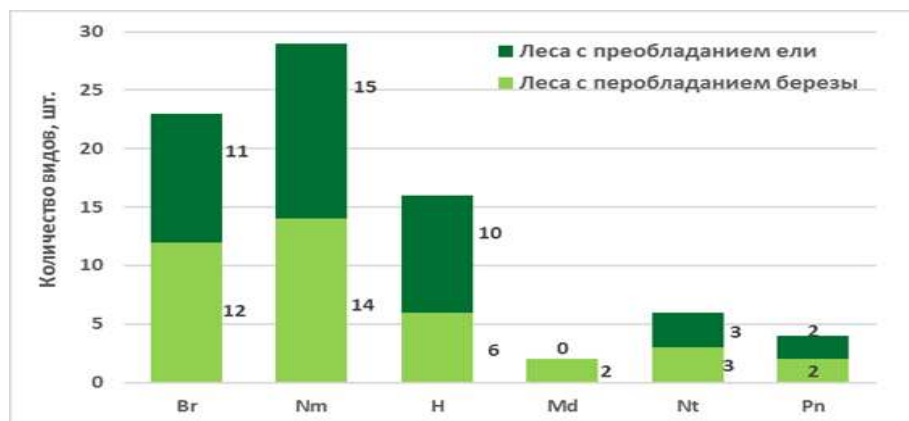


Рис. 2.3.3. Количество видов в эколого-ценотических группах (Br -бореальная, Nm-неморальная, H-высотравная, Md-лугово-опушечная, Nt- нирофильная, Pn-боровая) в лесах с преобладанием ели и березы

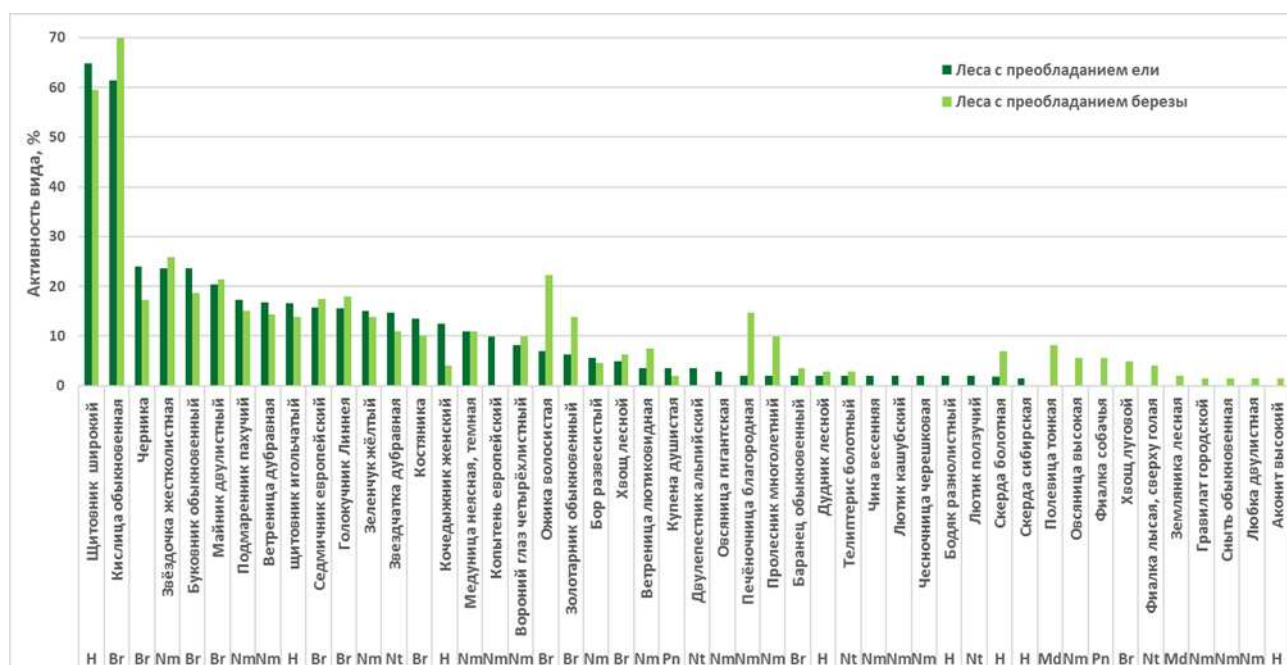


Рис. 2.3.4. Активность видов травяно-кустарничкового яруса во вторичных еловых неморально-бореальных лесах с преобладанием березы, ели

В результате проведенного обследования в пределах небольшого водосбора р. Межа, по трансекте от р. Межа до мезопопонижения с ППН №4, выявлено, что для проведения подпрограммы VG – Растительность достаточно заложить одну пробную площадь постоянного наблюдения в пределах обследованного профиля на водораздельной поверхности. Кроме того, информация получаемая с ППН на водоразделе совместно с результатами наблюдения, получаемыми с ППН, расположенной в речной долине р. Межа, позволит отразить пространственно-временную динамику воздействия загрязняющих веществ на природные экосистемы и климатические колебания в пределах небольшого водосбора, что согласуется с требованиями программы МСП КМ.

3. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ

3.1. Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ

Тяжелые металлы

В 2020 г. фоновое содержание ртути, свинца, кадмия в поверхностных водах большинства фоновых районов России соответствовало интервалам величин, наблюдаемых в последние годы, и составило для ртути 0,13–1,76 мкг/л, свинца 0,16–0,53 мкг/л, кадмия 0,01–2,4 мкг/л. На Азиатской части России фоновые концентрации тяжелых металлов, как правило, ниже, чем на ЕЧР (табл. 3.1.1).

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

Таблица 3.1.1 Фоновое загрязнение поверхностных вод по данным сети КФМ

Заповедник	Период наблюдений	Свинец, мкг/л		Кадмий, мкг/л		Ртуть, мкг/л	
		Диапазон	2020 г	Диапазон	2020 г	Диапазон	2020 г
Кавказский БЗ	1982-2020	0,2-16,0	0,53	0,004-2,5	0,015	0,03-1,4	0,40
Приокско-Тerrasный БЗ	1987-2019	нпо-39,4	0,46	0,03-3,5	0,04	0,03-8,7	0,43
Астраханский БЗ	1988-2020	0,08-128	0,28	0,1-413	2,41	0,01-74	1,76
Воронежский БЗ	1990-2020	0,16-50	0,16	0,01-4,6	0,01	0,06-0,54	0,135
Яйлю	2002-2020	0,01-3,6	0,28	0,01-0,7	0,014	0,01-0,44	0,05

нпо - ниже предела обнаружения

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

Бассейн Азовского моря.

Вода **р. Ворона** в черте г. Уварово, характеризуемая в течение большинства предыдущих лет как «условно чистая», либо «слабо загрязнённая», ухудшилась в 2020 г. до уровня «загрязненная». В воде реки увеличилось содержание нитритного азота среднегодовое от величин ниже ПДК до 2 ПДК, максимальное от 3,5 до 7 ПДК; возросла повторяемость случаев нарушения норматива от 14 % до 71 %. Среднегодовые концентрации остальных загрязняющих веществ не достигали, либо незначительно превышали ПДК (рис. 3.2.1); максимальные регистрировались на уровне: соединений железа 2 ПДК, аммонийного азота 3 ПДК.

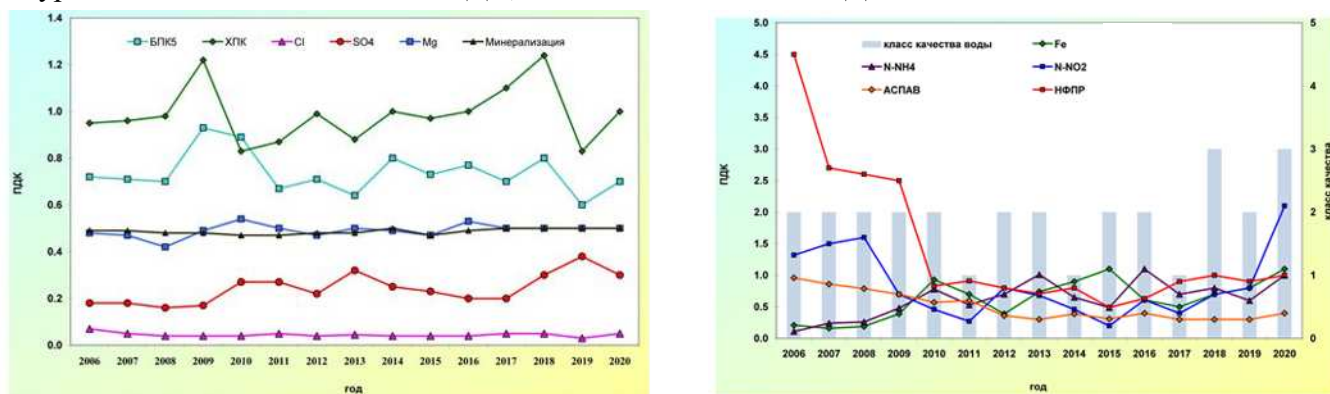


Рис. 3.2.1. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды а), б) р. Ворона в черте г. Уварово в многолетнем плане

Качество воды **р. Лесной Воронеж**, выше г. Мичуринск в многолетнем плане колебалось в пределах «условно чистая» – «слабо загрязненная». В 2020 г. в результате незначительного роста концентрации нитритного азота от величин ниже ПДК до 1,5 ПДК в среднем, числа случаев превышения ПДК от 17 % до 83 % и снижения содержания растворенного в воде кислорода от 7,09 до 5,48 мг/л, вода по качеству перешла из «условно чистой» в «слабо загрязненную» (рис. 3.2.2). Незначительное превышение ПДК наблюдалось органическими веществами (по ХПК). Содержание остальных загрязняющих веществ было на уровне или ниже ПДК.

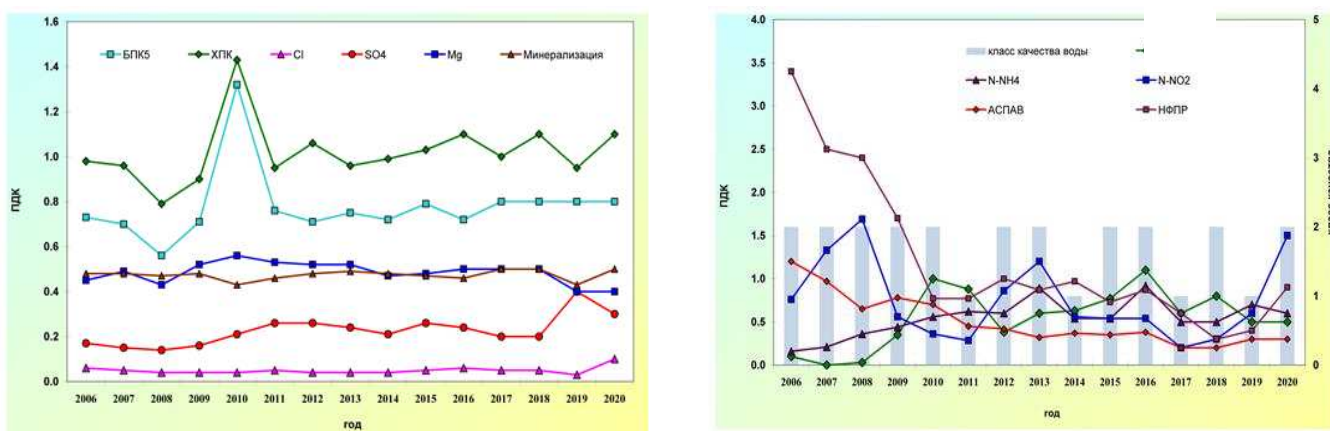


Рис. 3.2.2. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды р. Лесной Воронеж выше г. Мичуринск в многолетнем плане

Бассейн Карского моря

Притоки озера Байкал. В 2020 г. вода в устьевых участках 10 рек, выбранных в качестве фоновых, характеризовалась как «условно чистая». Качество воды рек **Голоустная, Бугульдейка, Сарма, Большая Сухая, Мантуриха, Мысовка, Снежная, Выдриная, Утулик, Хара-Мурин** по сравнению с предыдущим годом не изменилось. Незначительное превышение концентраций фенолов выявлено в 40 % створов в воде р. Снежная – 1,6 ПДК; концентрации фенолов на уровне ПДК отмечались в 40 % проб воды рек Мантуриха, Утулик. На рис. 3.2.3 показано изменение качества воды притоков озера Байкал за период с 2006 по 2020 гг.

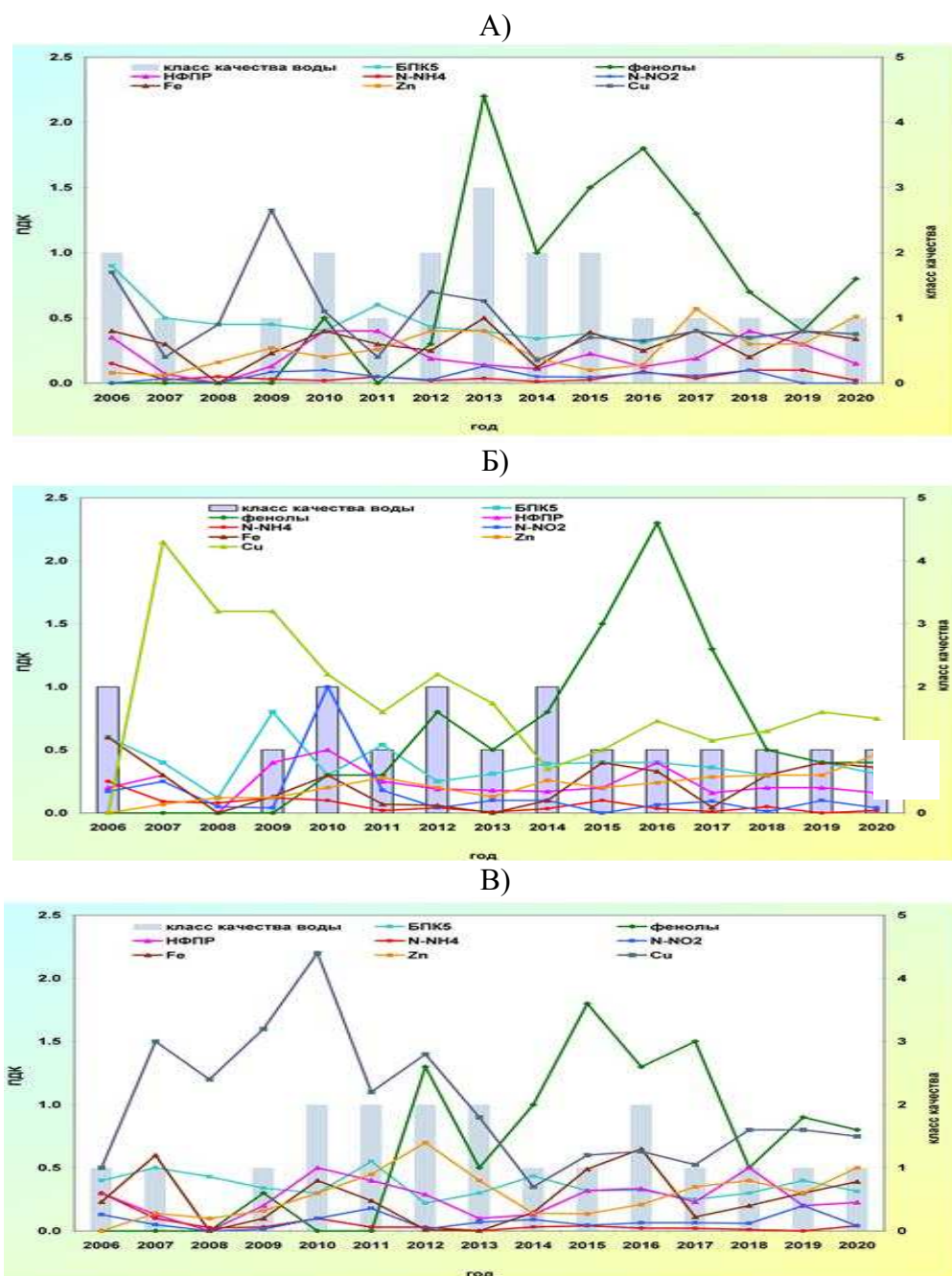
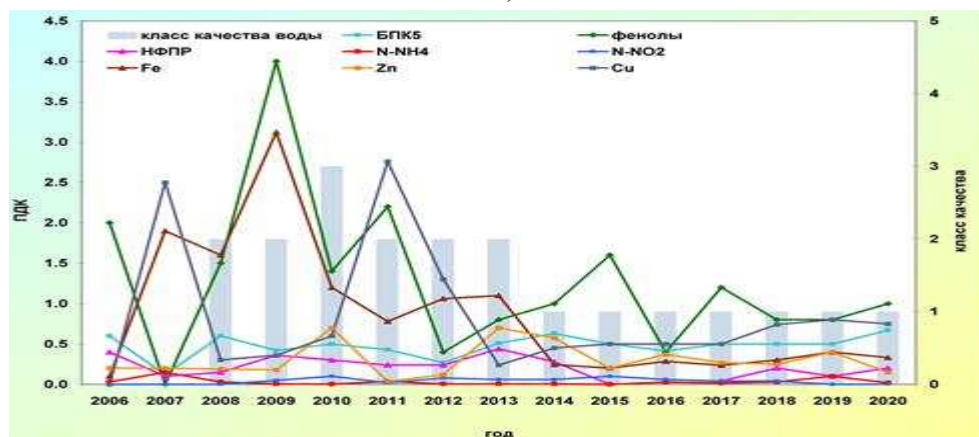


Рис. 3.2.3. (начало) Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды притоков оз. Байкал: а) р. Голоустная, б) р. Бугульдейка, в) р. Сарма, в многолетнем плане

Г)



Д)

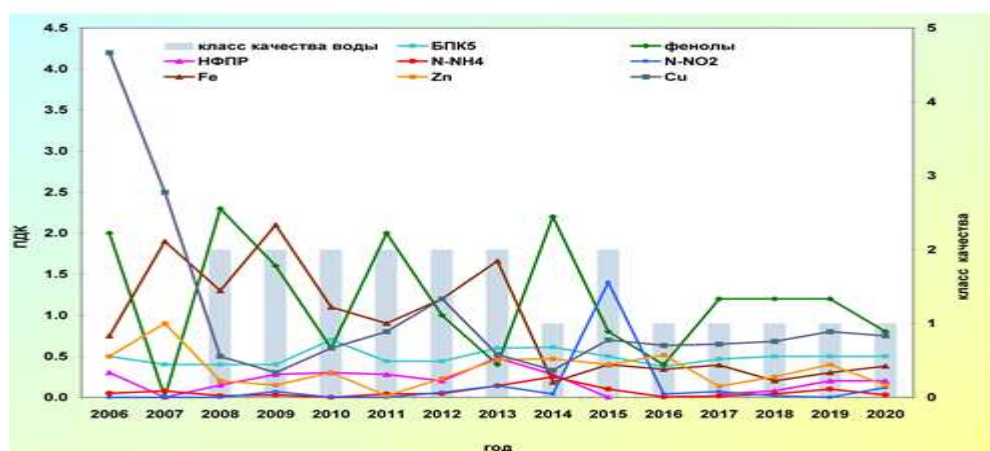


Рис. 3.2.3. (окончание) Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды притоков оз. Байкал: г) р. Мантуриха, д) р. Мысовка в многолетнем плане

Вода **Иркутского водохранилища** в трех створах наблюдений в 2020 г., как и в большинстве предыдущих лет, оценивалась как «условно чистая» (рис. 3.2.4). Содержания всех загрязняющих веществ и показателей качества воды ни в одном створе не превышали ПДК.

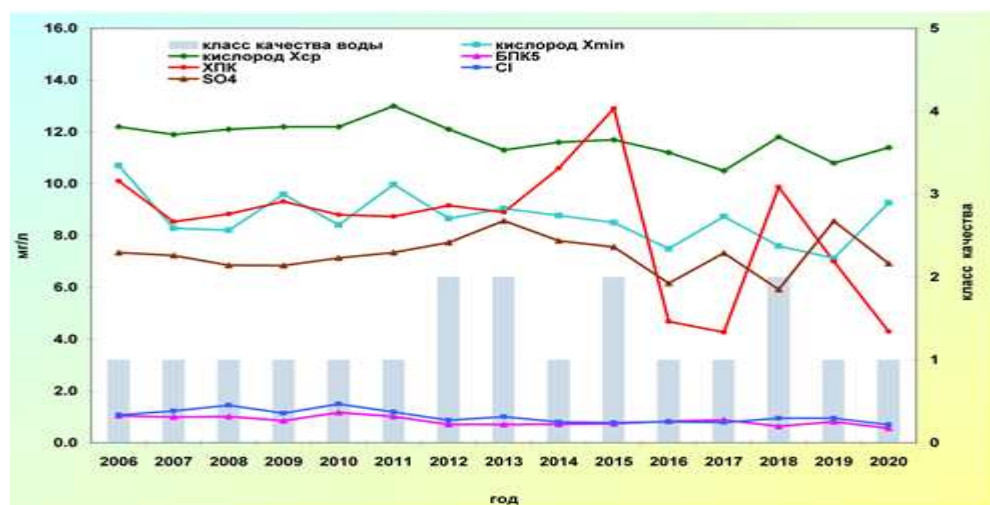


Рис. 3.2.4. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды Иркутского водохранилища, ОГП-1 Исток Ангары в многолетнем плане

Бассейн Восточно-Сибирского моря

Река Лена. В 2020 г. вода р. Лена в верхнем створе р.п. Качуг улучшилась и оценивалась как «условно чистая». Улучшение качества воды обусловлено уменьшением в воде реки среднегодовых концентраций аммонийного и нитритного азота, нефтепродуктов и соединений никеля до уровня не превышающих 1 ПДК (рис. 3.2.5).

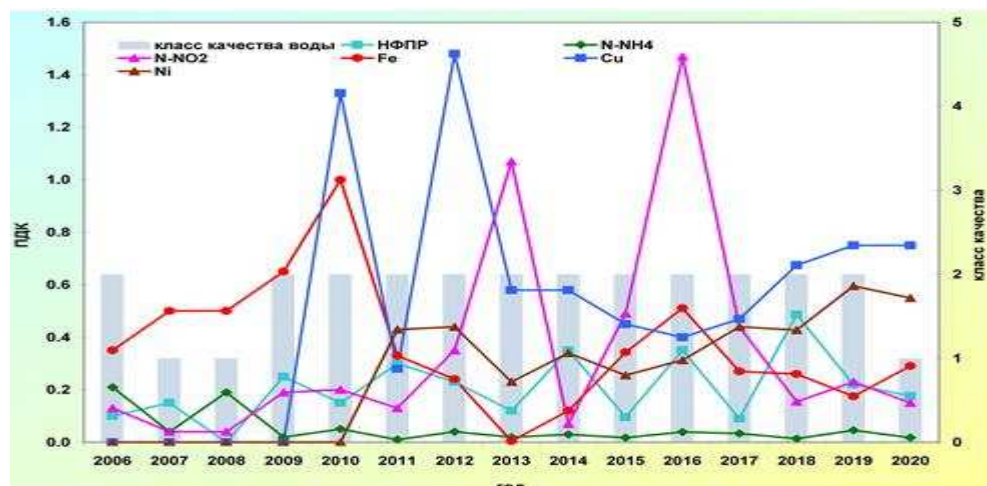


Рис. 3.2.5. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды р. Лена, р.п. Качуг в многолетнем плане

В створе г. Усть-Кут вода по качеству в течение 2013-2020 гг. не изменилась, по-прежнему оценивалась как «слабо загрязненная». При этом среднегодовые концентрации уменьшились - аммонийного и нитритного азота, незначительно увеличились – нефтепродуктов и соединений никеля, не изменились - соединений меди и не превышали 1 ПДК (рис. 3.2.6).

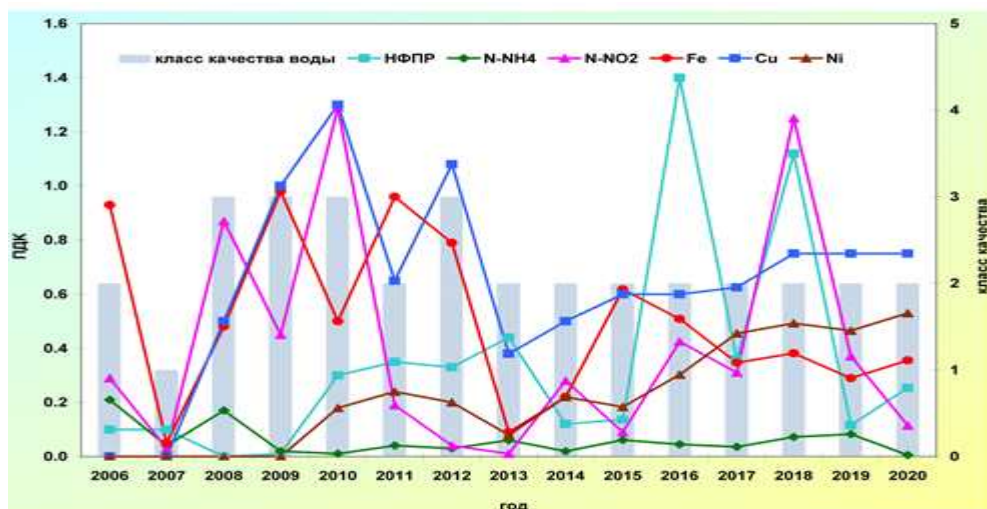


Рис. 3.2.6. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды р. Лена, г. Усть-Кут в многолетнем плане

Бассейн Тихого океана

Поверхностные воды бассейна Тихого океана расположены на территории Дальневосточного федерального округа. Наблюдения за фоновым загрязнением поверхностных вод государственной наблюдательной сетью в 2020 г. проводились на о. Сахалин Сахалинской области ФГБУ «Сахалинское УГМС», на полуострове Камчатка Камчатского края ФГБУ «Камчатское УГМС».

Реки о. Сахалин.

Наблюдения за фоновым загрязнением поверхностных вод о. Сахалин в 2020 г. осуществляли на рр. Рогатка, Правда, Лютога, Чеховка, Углегорка, Очепуха.

На **р. Рогатка**, притоке р. Сусуя, фоновый пункт наблюдений расположен выше г. Южно-Сахалинск и выше плотины городского водохранилища. Организованный сброс сточных вод в р. Рогатка отсутствует. Последнее десятилетие вода р. Рогатка, как правило, характеризовалась как «слабо загрязненная», в 2019-2020 гг. как «загрязненная» (рис. 3.2.7). Для химического состава воды р. Рогатка многие годы характерно некоторое периодическое повышение концентраций в воде марганца, меди, реже соединений кадмия, обусловленное природными факторами. В 2020 г. среднегодовые концентрации меди в р. Рогатка в фоновом створе выше г. Южно-Сахалинск составляли 2 ПДК, меди 3 ПДК. Среднегодовые концентрации цинка, никеля, фенолов, нефтепродуктов, железа, никеля, кадмия и ряда других веществ соответствовали нормативным требованиям.

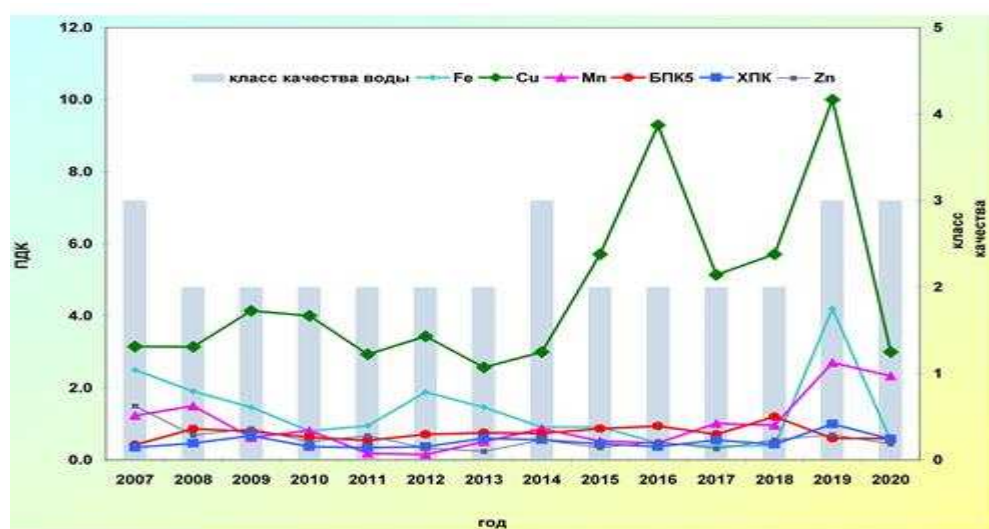


Рис. 3.2.7. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды р. Рогатка в створе выше г. Южно-Сахалинск в многолетнем плане

Река Правда впадает в Татарский пролив. В створе наблюдений за фоновым состоянием в районе п. Правда в 2020 г. наблюдали, как и в предыдущие годы, отсутствие загрязненности воды аммонийным и нитритным азотом, органическими веществами (по БПК₅), соединениями цинка, никеля, свинца, кадмия. Лишь в единичных пробах отмечали незначительное отклонение от нормативных требований по содержанию в воде фенолов, органических веществ (по ХПК). Повышенное содержание в воде р. Правда соединений меди фиксировали в реке при повышенной водности. С учетом комплекса присутствующих в воде химических веществ вода р. Правда характеризовалась хорошим качеством и оценивалась как «слабо загрязненная» (рис. 3.2.8).

Река Лютога выше п. Чапланово последнее десятилетие оценивается как «слабо загрязненная». В воде реки в 2020 г. лишь в единичных пробах отмечали невысокие концентрации в воде марганца, железа, меди, цинка природного происхождения, нефтепродукты среднегодовые концентрации при этом соответствовали ПДК и вода оценивалась как «слабо загрязненная».

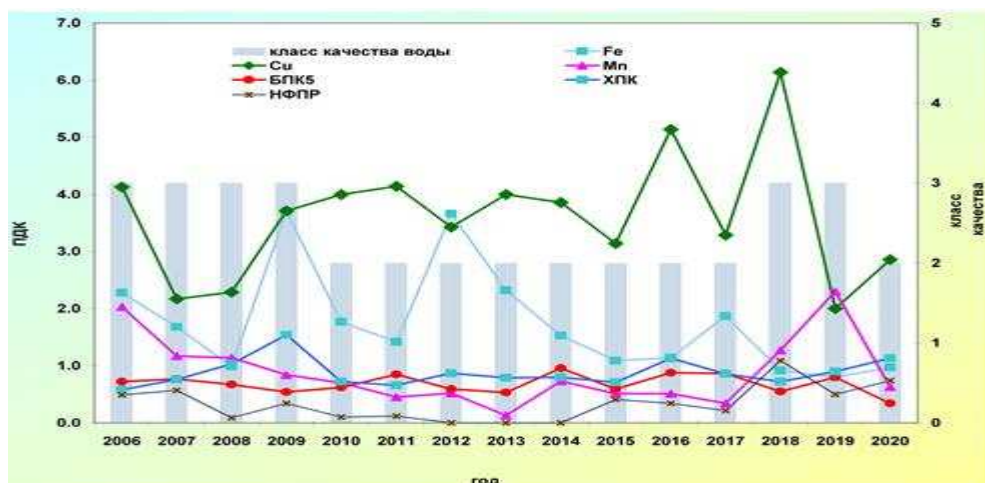


Рис. 3.2.8. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды р. Правда в створе выше п. Правда в многолетнем плане

Реки полуострова Камчатка. В 2020 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 районе с. Пушино характеризовалась в 2018 г. как «загрязненная». В воде фиксировали в среднем на уровне 3 ПДК нефтепродукты, в ряде проб соединения меди до 5 ПДК при среднегодовой концентрации в пределах нормативных требований.

Река Берш к западу от с. Пушино на фоновом участке 0,2 км выше впадения р. Кагикан по содержанию в воде комплекса загрязняющих веществ в 2020 г. характеризовалась как «загрязненная» (рис. 3.2.9). В 2020 г. вода р. Берш осталась загрязненной нефтепродуктами до 7 ПДК и соединениями меди до 3 ПДК. Содержание остальных присутствующих в воде р. Берш у с. Пушино химических веществ в 2020 г. соответствовало нормативным требованиям.

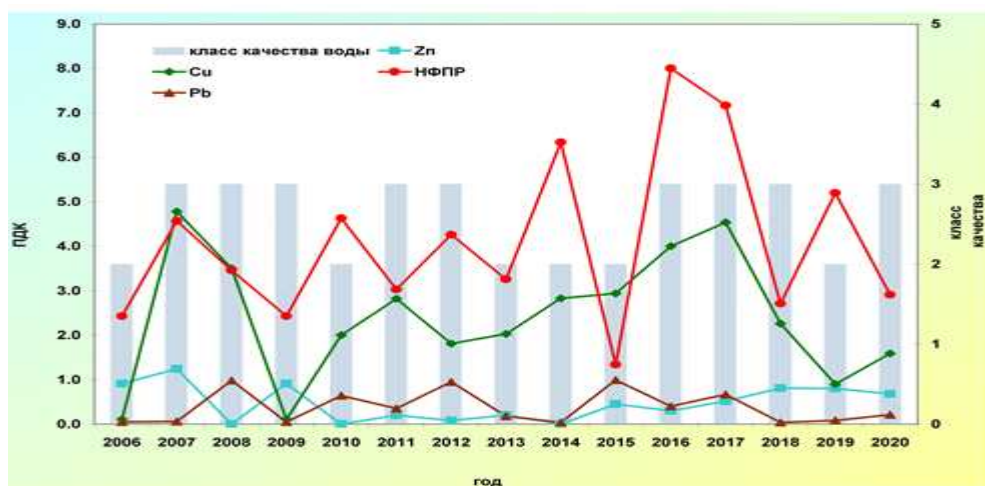


Рис. 3.2.9. Изменение среднегодовых концентраций отдельных ингредиентов и качества воды р. Берш в пункте с. Пушино в многолетнем плане

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

В районах расположения станций сети ЕАНЕТ на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока проводятся наблюдения по программе мониторинга химического состава поверхностных вод с целью получения данных для оценки воздействия кислотных выпадений на экосистемы водоемов и малых рек. Основные принципы организации наблюдений разработаны и реализуются с использованием опыта программ мониторинга в рамках Конвенции ЕЭК ООН по трансграничному загрязнению воздуха (ICP-Waters, ICP-IM), региональных сетей мониторинга ряда стран, включая Россию, и долгосрочных 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 (<https://monitoring.eanet.asia/document/public/index>) и 2-м Периодическом отчете о состоянии кислотных выпадений в Восточной Азии (2011).

В 2020 году в воде реки Комаровка продолжало наблюдаться повышенное, по сравнению со средними многолетними значениями, содержание нитратов, ионов аммония, кальция и магния. Содержание сульфатов было близко к уровню среднемноголетних значений. Для реки Переемная существенных отличий уровня содержания наблюдаемых веществ от средних многолетних показателей не было выявлено (Табл. 3.3.1).

Табл. 3.3.1. Средние многолетние концентрации основных ионов и диапазон их изменений в поверхностных водах водотоков в районах станций ЕАНЕТ в 2007–2020 гг.

Вещество (измеряемое соединение)	р. Комаровка (Приморье)			р. Переемная (бассейн оз. Байкал)		
	Среднее		Диапазон изменений (2007-2020)	Среднее		Диапазон изменений (2007-2020)
	многолетнее	2020 г		многолетнее	2020 г	
pH	6,92	6,77	6,35 - 7,45	6,72	6,78	6,41 - 7,21
SO ₄ ²⁻ , мг/л	11,83	11,02	3,57 - 16,27	11,13	12,10	6,37 - 15,44
NO ₃ ⁻ , мг/л	1,93	2,02	0,10 - 6,15	0,71	0,58	0,18 - 1,30
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,19	0,24	0,01 - 1,03	0,02	0,005	нпо - 0,25
Ca ²⁺ , мг/л	8,56	9,63	5,20 - 11,47	4,76	4,72	2,97 - 6,32
Mg ²⁺ , мг/л	2,18	2,26	0,60 - 3,30	0,88	0,94	0,50 - 1,34
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,03	0,03	нпо - 0,12	0,002	0,002	нпо - 0,01

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

Кислотность поверхностных вод

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

В Приморье в водах р. Комаровка в 2020 году увеличение кислотности продолжилось,

значения колебались от 6,7 до 6,88 ед. pH. Среднее за год составило 6,77, что ниже среднего значения за период наблюдения 2007–2020гг. Для р. Комаровки не наблюдалось значительных различий величины pH между сезонами, тем не менее, как правило, для весны характерно незначительное снижение pH и рост его значений к осени.

По результатам наблюдений в 2020гг. 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 повышение кислотности. Для надёжного определения количественных характеристик долговременных изменений кислотности продолжается накопление длительных рядов измерений, а также поиск методов специализированных детальных расчётов.

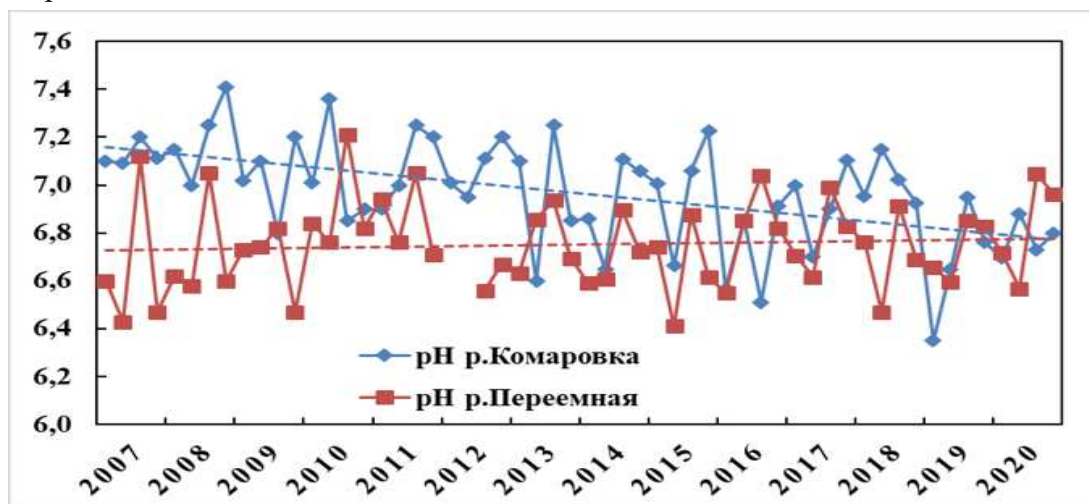


Рис.3.3.1 Тенденции изменения pH в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье и в районе оз. Байкал.

Содержание сульфатов

В 2020 году среднегодовое содержание сульфатов в воде р. Комаровка составило 11 мг/л, при этом в течение года значения изменялись от 6,33 до 13,0 мг/л. Для р. Переменная среднегодовая концентрация составила 12,1 мг/л (Таблица 3.3.1), интервал изменений также оставался на уровне характерных значений - от 8,1 до 15,23 мг/л.

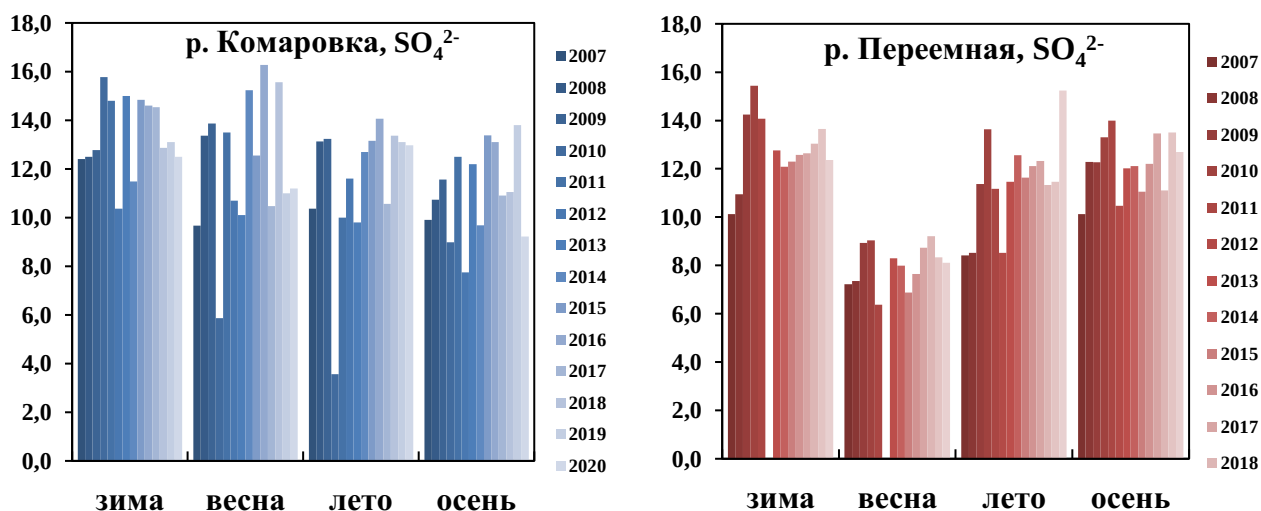


Рис.3.3.2 Сезонные изменения концентраций сульфатов (мг/л) в водах р. Комаровка (слева) и р. Переменная (справа) в 2007–2020гг.

В годовом ходе концентраций для р. Комаровка отсутствуют повторяющиеся ежегодно сезоны с минимальным значением, тогда как для р. Переемой можно отметить выраженное уменьшение концентраций в весенние месяцы. За весь период 2007–2020 гг. абсолютные минимальные измеренные значения составили 3,57 для реки Комаровка (в летний период 2010 года) и 6,37 мг/л для реки Переемая (в весенний период 2011 года). Абсолютные максимальные измеренные значения составили 16,27 для реки Комаровка (в весенний период 2016 года) и более 15 мг/л для реки Переемая (в весенний период 2010 года и летом 2020 г.) (рис. 3.3.3).

Содержание нитратов

В 2020 году среднегодовое содержание нитратов для р. Комаровка снизилось по сравнению с прошлым годом и составило 2,0 мг/л, что все ещё несколько выше уровня среднемноголетних значений. Для р. Переемая среднегодовое значение также незначительно снизилось и составило 0,6 мг/л. В целом интервал изменений в 2020 г. измеренных концентраций нитратов в р. Комаровка составляет от 1,08 мг/л до 4,16 мг/л, что значительно больше, чем для р. Переемая (от 0,41 до 0,81 мг/л), а средние многолетние значения составляют 1,93 и 0,71 мг/л, соответственно. В годовом ходе для р. Переемая явно прослеживается закономерность снижения концентрации в летне-осенний период; для р. Комаровка отсутствуют чёткие закономерности, тем не менее, в некоторые годы прослеживается снижение содержания нитратов в летний и осенний сезоны (Рис. 3.3.3).

По результатам измерений в 2007–2020 гг. для р. Переемая отмечается тенденция снижения содержания нитратов. Для р. Комаровки наблюдается повышение содержания нитратов в воде (рис.3.3.4).

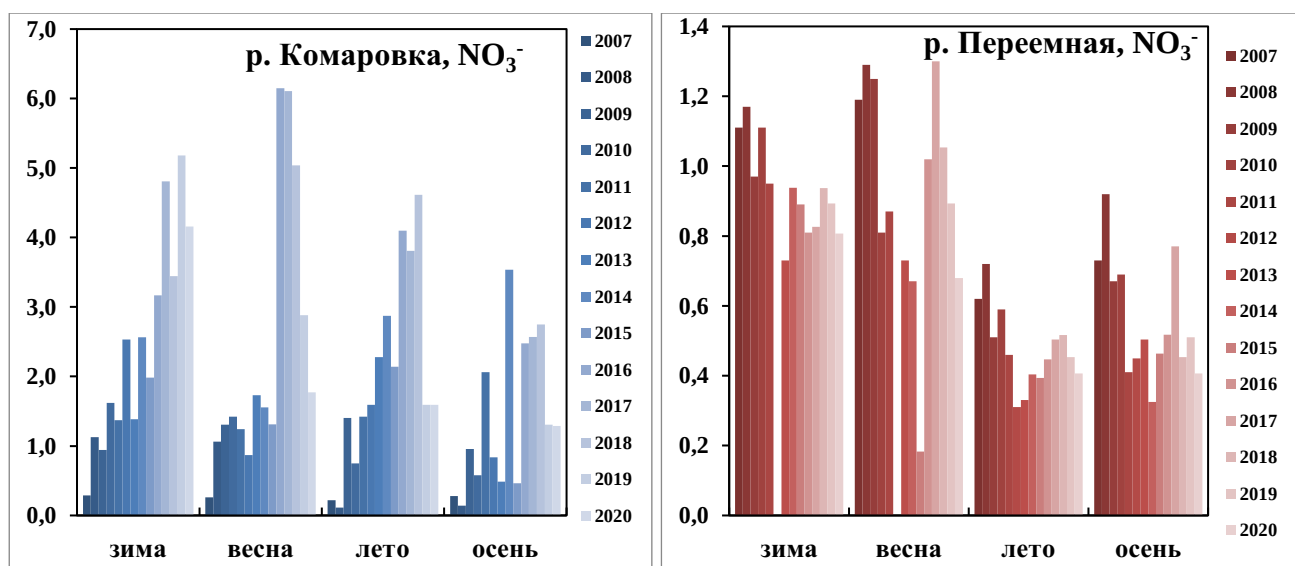


Рис.3.3.3 Внутригодовые изменения концентраций нитратов (мг/л) в р. Комаровка (слева) и р. Переемая (справа) в 2007-2020 гг.



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 2020 году составило 9,63 мг/л, при среднем многолетнем 8,56 мг/л. Содержание магния составило 2,26 мг/л, при среднем многолетнем 2,18 мг/л. Для р. Переемная, среднее содержание ионов кальция и магния составило 4,72 мг/л и 0,94 мг/л, соответственно, что незначительно отличается от средних многолетних значений: 4,76 мг/л для кальция и 0,88 мг/л для магния. В целом, уровни концентраций ионов кальция и магния в воде р. Комаровка значительно выше, чем в р. Переемная.

В 2020 продолжилась тенденция на увеличение содержания ионов кальция в воде р. Комаровка (Рис. 3.3.5). Колебания значений в течение года составили от 8,30 мг/л до 10,53 мг/л. Среднегодовое содержание кальция в воде р. Переемная в 2020 г. было характерным для последних лет и составило 4,72 мг/л при колебаниях концентраций в течение года от 3,67 мг/л до 5,47 мг/л.

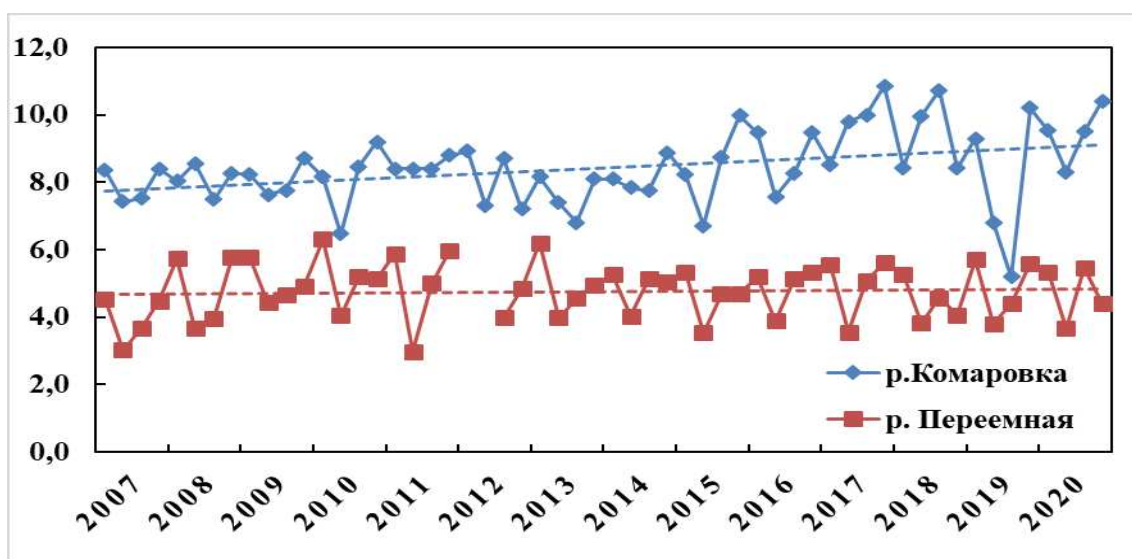


Рис.3.3.5 Изменения концентраций кальция (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

Содержание ионов магния в водах р. Комаровки в 2020 году было на уровне среднеголетних значений: 2,26 мг/л, при внутригодовых колебаниях концентраций от 1,70 мг/л до 2,80 мг/л. Среднегодовое содержание ионов магния в воде р. Переемная было характерным для уровней последних лет и составило 0,94 мг/л, что немного выше среднего многолетнего 0,88 мг/л, при внутригодовых колебаниях концентраций от 0,69 мг/л до 1,18 мг/л. В целом содержание ионов магния в 2020 году существенно не отличалось от многолетних уровней и для р. Переемная и для р. Комаровка.

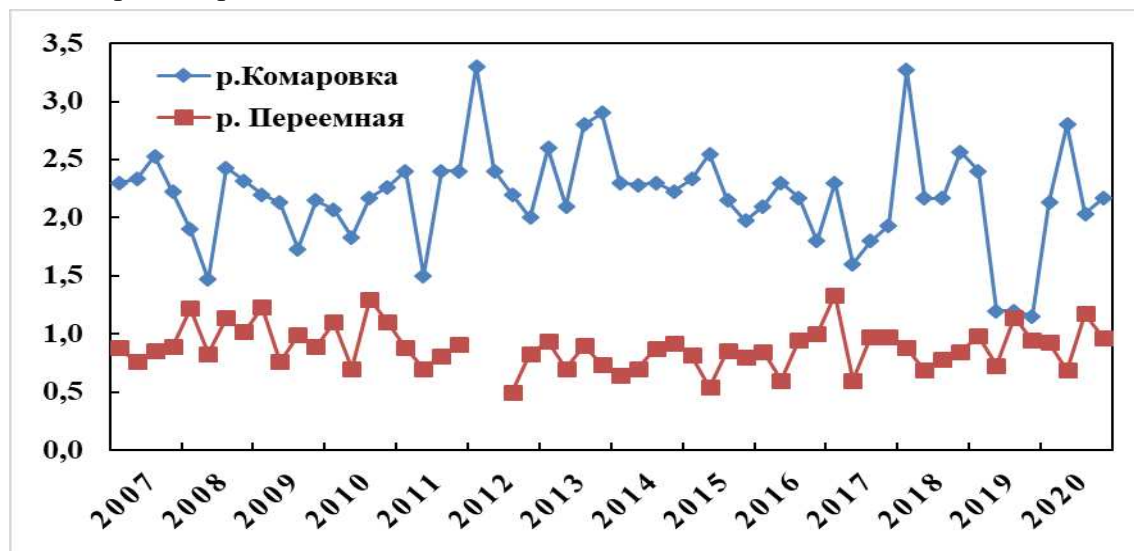


Рис.3.3.6 Изменения концентраций магния (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

Содержание аммония в водах р. Комаровка в 2020 году было незначительно выше среднего многолетнего и в течение года концентрации колебались от 0,11 мг/л до 0,41 мг/л (Рис. 3.3.7). В водах р. Переемная среднегодовое значение концентраций NH_4^+ было ниже, чем среднее многолетнее значение.

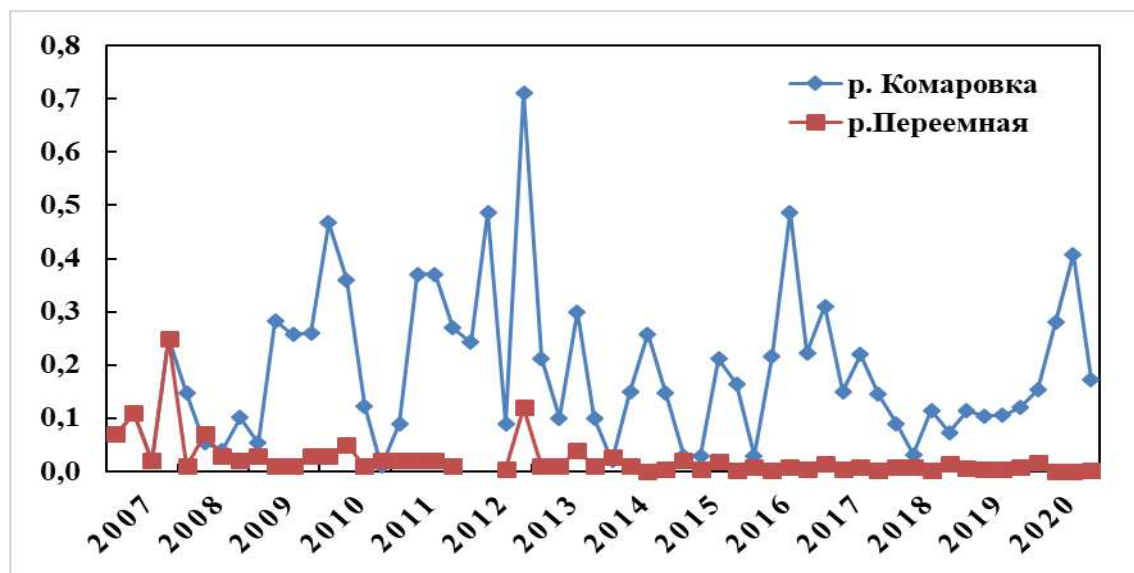


Рис.3.3.7 Изменения концентраций аммония (мг/л) в поверхностных водах на станциях ЕАНЕТ в Приморье (р. Комаровка) и в районе оз. Байкал

Соотношения основных анионов и катионов

При анализе совмещённых годовых ходов концентраций кальция и сульфатов можно отметить, что содержание сульфатов в целом более высокое, чем кальция, данная тенденция не была нарушена в 2020 г. Как отмечалось ранее, уровень концентраций нитратов в водах реки существенно ниже концентраций кальция и сульфатов (рис. 3.3.8 вверху).

Минимальные и максимальные значения основных анионов и кальция, выраженные в эквивалентной форме (для прослеживания их роли в формировании кислотно-щелочной реакции воды), наблюдаются практически в одни и те же периоды (за исключением, например, резкого увеличения содержания суммы главных анионов в апреле 2016 г., а также уменьшения суммы анионов в сентябре 2017 г. и 2020 г.). Для р. Комаровка содержание кальция (в эквивалентных единицах) практически всегда примерно в полтора раза выше, чем общее содержание сульфатов и нитратов, что обеспечивает близкий к нейтральному pH поверхностных вод в малых реках Приморья (Рис. 3.3.8), хотя отмечающаяся тенденция роста кислотности воды указывает на снижение потенциала нейтрализации поверхностных вод.

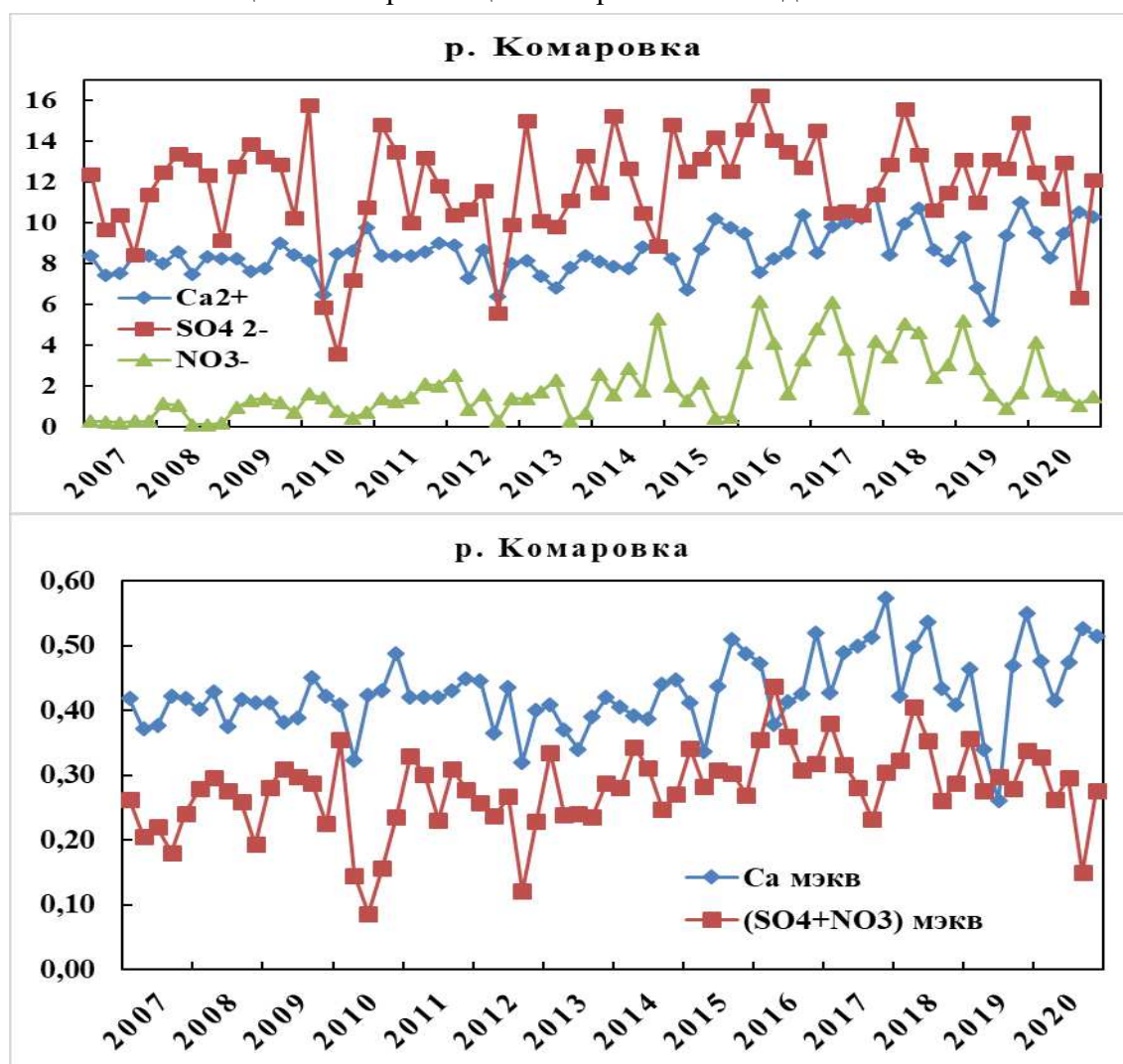


Рис.3.3.8 Динамика согласованного изменения сульфатов, нитратов и кальция (верхний, мг/л), и их эквивалентов (нижний, мэкв/л) в поверхностных водах на станции ЕАНЕТ Приморская в 2007–2020гг.

Как и в предыдущие годы, в 2020 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 2020 года отношение кальция к сумме ионов сульфатов и нитратов (в экв) составляло чуть больше 1,0. Такое соотношение данных веществ, характерное для вод р. Переемная, является причиной низкой буферной способности к нейтрализации кислотных компонентов. Вода реки оценивается как крайне неустойчивая к закислению.

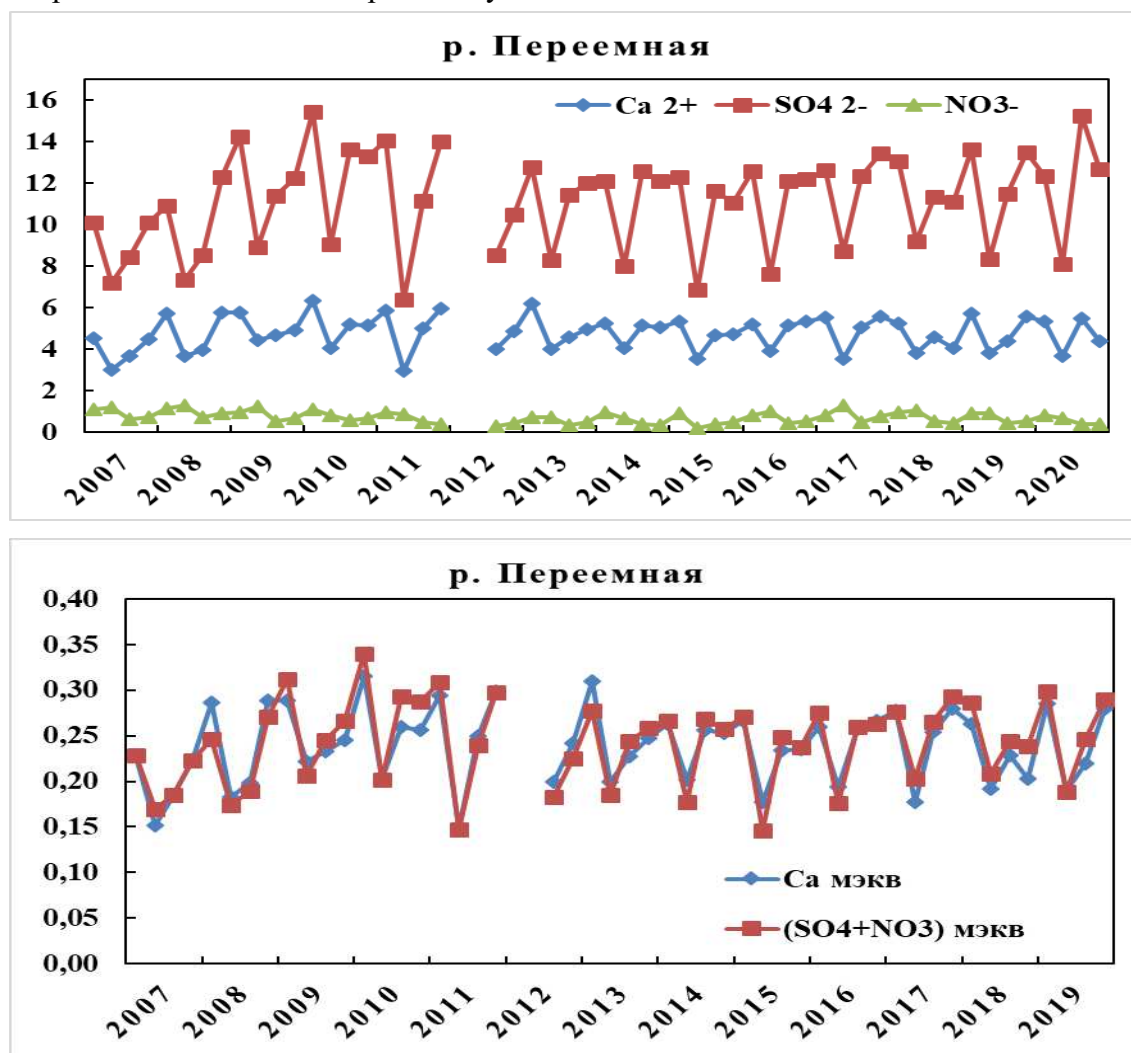


Рис.3.3.9 Динамика согласованного изменения сульфатов, нитратов и кальция (верхний, мг/л), и их эквивалентов (нижний, мэкв/л) в поверхностных водах р. Переемная в 2007–2020гг.

В целом по результатам фоновых наблюдений за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети EANET, в 2020 году 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 мониторинга поверхностных вод суши по гидробиологическим показателям производился в соответствии с РД 52.24.309-2016 в районах, удаленных от локальных источников антропогенного воздействия, не подверженных влиянию промышленных и хозяйственных стоков. В 2020 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 охранных зонах: Большехехцирский, Жигулевский, Лапландский, Приокско-Террасный, Усть-Ленский.

Баренцевский гидрографический район

Наблюдения в 2020 г. проводились Мурманским УГМС на фоновых участках 4 водных объектов: 3 рек и 1 озеро.

Бассейн реки Туломы: р. Лотта (п. Светлый, устье). В составе фитопланктона встречено – 33 вида (в 2019 г. – 32 вида, в 2018 г. – 45 видов, в 2017 г. – 53, в 2016 г. – 33, в 2015 г. – 48, в 2014 г. – 38). Диатомовых водорослей встречено 16 видов (в 2019 г. – 11, в 2018 г. – 19, в 2017 г. – 26), золотистых – 7, харовых – 4, синезеленых – 3, динофитовых – 2, зеленых – 1. Общая численность водорослей лежала в диапазоне 0,21–0,94 тыс.кл./мл. Максимальная биомасса наблюдалась в августе 1,40 мг/дм³. По-прежнему в период максимального развития на фоне диатомового комплекса активно вегетировали олиготрофные золотистые рода *Dinobryon* и хлорококковые *Eudorina elegans*. По параметрам развития фитопланктона оценка качества воды не изменилась.

В составе зоопланктона встречено 19 видов (в 2019 г. – 20, в 2018 г. – 18, в 2015 г. – 14), из них больше всего видов принадлежит коловраткам – 11 и веслоногим ракам – 5, ветвистоусых раков встречено 3 вида. Общая численность организмов варьировала от 1,1 до 1,6 тыс.экз/м³, а биомасса достигала 18,1 мг/м³. По-прежнему в составе сообщества доминировал ротаторно-клядоцерный комплекс. Основной вклад в формировании общей численности вносили коловратки, наибольший вклад из которых принадлежал *Kellicottia longispina* (33-51% общей численности (далее – ОЧ)). Основной вклад в формирование биомассы планктона вносили *Cladocera Bosmina longirostris* и *B. obtusirostris*.

Зообентос реки насчитывал 11 видов (в 2019 г. – 18): 5 видов хирономид, 4 – олигохет и 2 вида моллюсков. Количественные показатели на уровне прошлых лет: общая численность лежала в диапазоне 1,12–3,66 тыс.экз/м², а биомасса – 1,00–2,33 г/м². В августе доминировали олигохеты – *Limnodrilus hoffmeisteri*, достигая 75% от общей численности.

Значения индекса сапробности (далее – ИС) и биотического индекса (далее – БИ) в 2007–2020 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.1., 3.4.2.

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

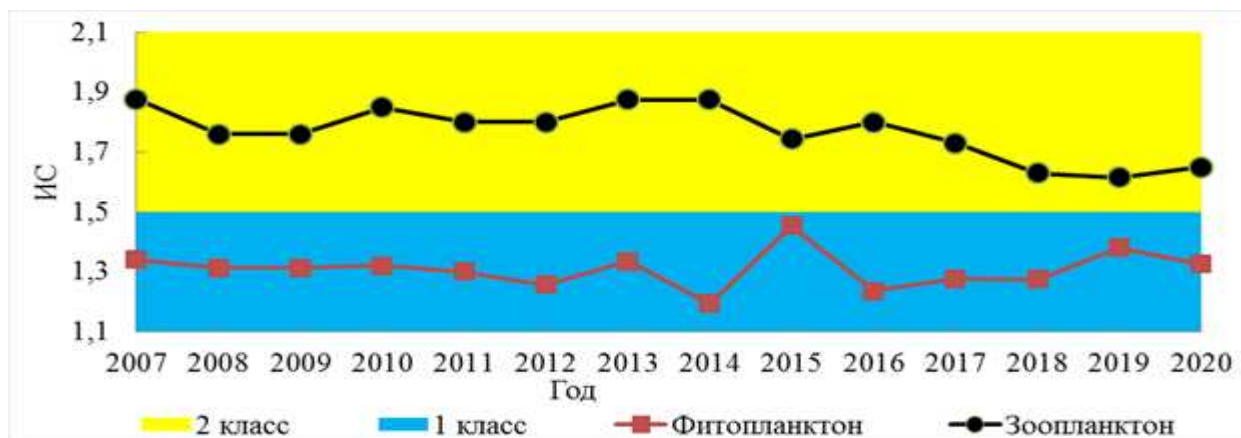


Рис. 3.4.1. Значение ИС в 2007–2020 гг., р. Лотта

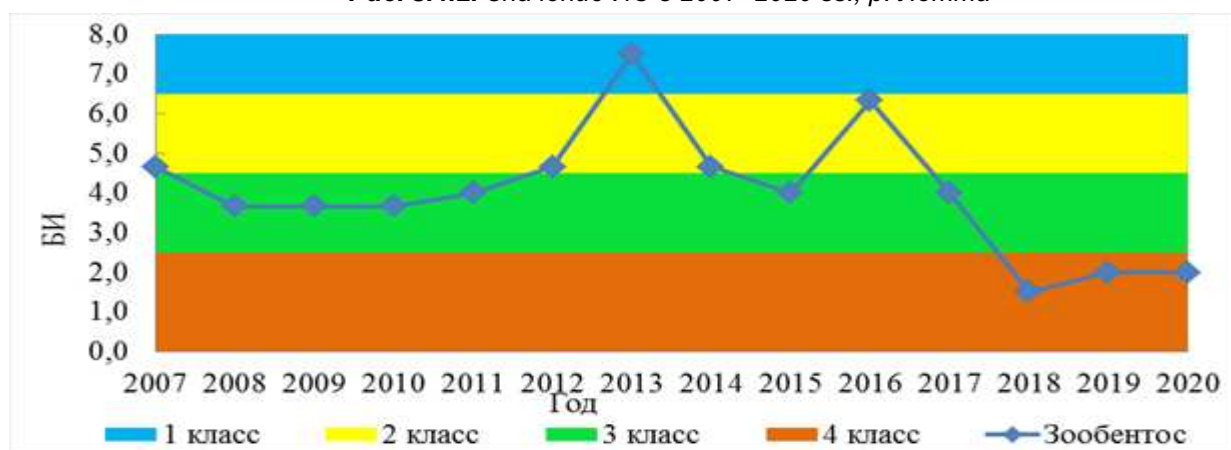


Рис. 3.4.2. Значение БИ в 2007–2020 гг., р. Лотта

Бассейн реки Колы: р. Кица (ст. Лопарская, устье). В составе фитопланктона встречено 58 видов (в 2019 г. – 30, в 2018 г. – 26, в 2017 г. – 33, в 2016 г. – 37, в 2015 г. – 48, в 2014 г. – 50), среди которых наибольшего распространения достигали диатомовые – 21 вид, харовые – 13 и зеленые – 11, синезеленых встречено 5 видов, золотистых – 4, динофтовых – 3, криптонад – 1. В июне-июле преобладали диатомовые, но общую биомассу в это время определяли панцирные жгутиконосцы (50% ОБ). В августе-сентябре в равной степени представлены три основных группы: диатомовые, синезеленые и зеленые. В конце вегетационного периода отмечен пик развития синезеленых – два вида *Coelosphaerium* составляли 56% всего количества фитопланктона. В сентябре общее разнообразие в пробе 32 вида, из них сфагновых харовых водорослей – 10 таксонов. Качество вод по показателям фитопланктона по сравнению с предыдущим годом улучшилось.

В зоопланктоне встречено 16 видов (в 2019 г. – 18), из них 10 – коловраток, 5 – ветвистоусых и 1 вид веслоногих ракообразных. Общая численность планктеров достигала 2,67 тыс.экз/м³, а биомасса – 70,16 мг/м³. Наибольшего развития зоопланктонное сообщество достигало в конце вегетационного периода. Доля олигосапробных индикаторов составляла 37% ОЧ.

Зообентос реки насчитывал 18 видов (в 2019 г. – 11), среди них 10 представителей группы Chironomidae, 5 – Oligochaeta, по 1 виду Plecoptera, Mollusca и Ephemeroptera. В летний период доминировали хирономиды, достигая максимума развития в августе (100% ОЧ). В сентябре преобладали олигохеты – до 70% ОЧ, также присутствовали индикаторные веснянки

Neptenia flava (β). Количественные показатели близки к прошлогодним значениям: общая численность находилась в пределах 0,28–0,92 тыс.экз/м², биомасса организмов не превышала 0,52 г/м².

Значения ИС и БИ в 2009–2020 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.3, 3.4.4. Экосистема р. Кица, находится в состоянии экологического благополучия с чертами антропогенного экологического напряжения.

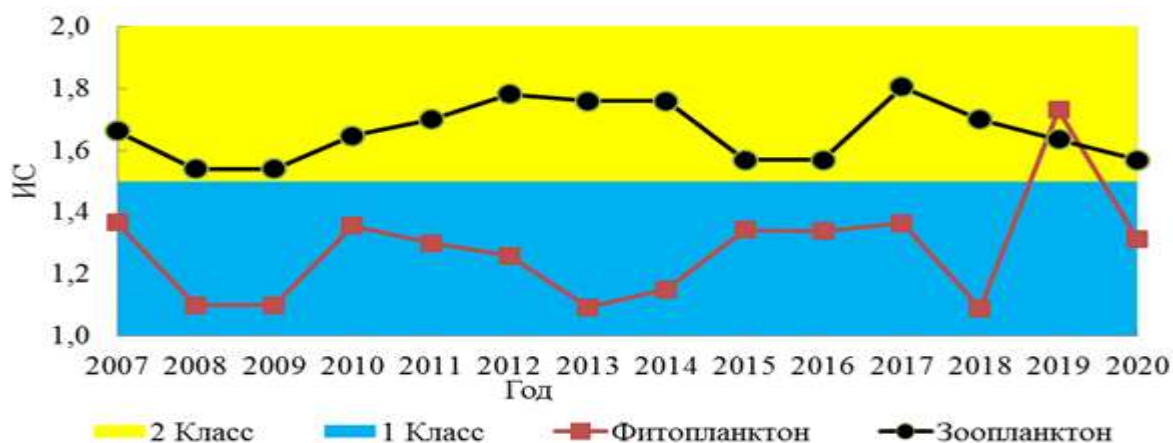


Рис. 3.4.3. Значение ИС в 2009–2020 гг., р. Кица.

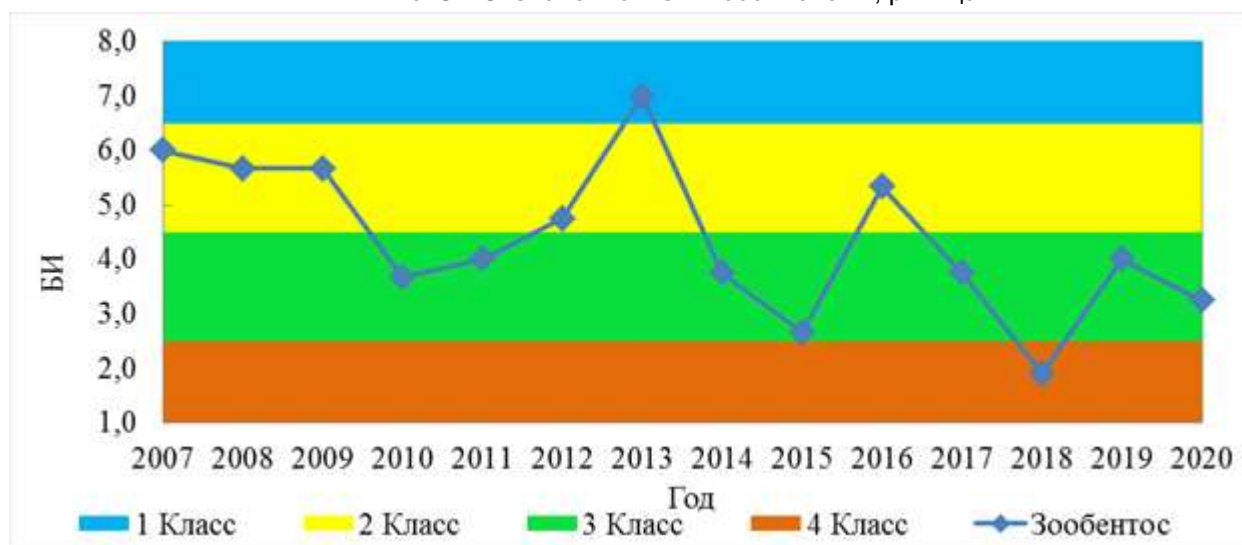


Рис. 3.4.4. Значение БИ в 2009–2020 гг., р. Кица.

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

В устье р. Вите в составе фитопланктона встречен 41 вид (в 2019 г. – 32, в 2018 г. – 63, в 2017 г. – 49, в 2016 г. – 40, в 2015 г. – 43, в 2014 г. – 49) из них диатомовых – 14, золотистых – 8, харовых – 7, зеленых обнаружено 6, динофитовых – 4, синезеленых – 2. Общая численность альгофлоры не превышала 1,04 тыс.кл./мл, а биомасса – 0,98 мг/дм³. Максимальные значения отмечены в августе. Качественное разнообразие варьировало в пробах – от 11 до 26 видов на

пробу. Более 50% ОЧ в июне составляли колонии цианобактерий *Nostoc*, в июле золотистые класса *Dinobryon* достигали 49% ОЧ. Эвтрофные нитчатые *Ulothrix zonata* в августе достигали 26% ОЧ. В пробах зоопланктона встречено 23 вида (в 2019 г. – 19, в 2018 г. – 24, в 2017 г. – 21), из них: 15 видов коловраток, 6 ветвистоусых и 2 веслоногих ракообразных. Общая численность организмов находилась в пределах 0,16–0,83 экз./м³, биомасса возрастала от 2,79 до 16,66 мг/м³. Максимальные значения отмечены в августе. Планктон носил ротаторно клadoцeрный характер. По количеству преобладали коловратки, по биомассе ветвистоусые ракообразные. Веслоногие ракообразные представлены науплиальными и копеподитными стадиями. Обнаружены чувствительные индикаторные виды, так в июне *Notolca acuminata* достигали 19% ОЧ.

В зообентосе р. Вите встречено 11 видов (в 2019 г. – 20), среди них 6 видов Chironomidae, 3 – Ephemeroptera, 4 – Oligochaeta. Количественные показатели выше прошлогодних: общая численность достигала 5,12 тыс.экз./м², биомасса до 0,96 г/м². Доминировали хирономиды *Corynoneura scutellata* (до 67% ОЧ). Отмечены индикаторные виды поденок: *Heptagenia sulphurea* (β), *Ephemerella ignita* (α-α) и *Centroptilum luteolum* (α-β).

Значения ИС и БИ в 2009–2020 гг., а также принадлежность вод к классам качества по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.5, 3.4.6. За рассматриваемый промежуток класс качества вод неизменен, а экосистема реки находится в состоянии перехода от экологического благополучия к состоянию антропогенного экологического напряжения.

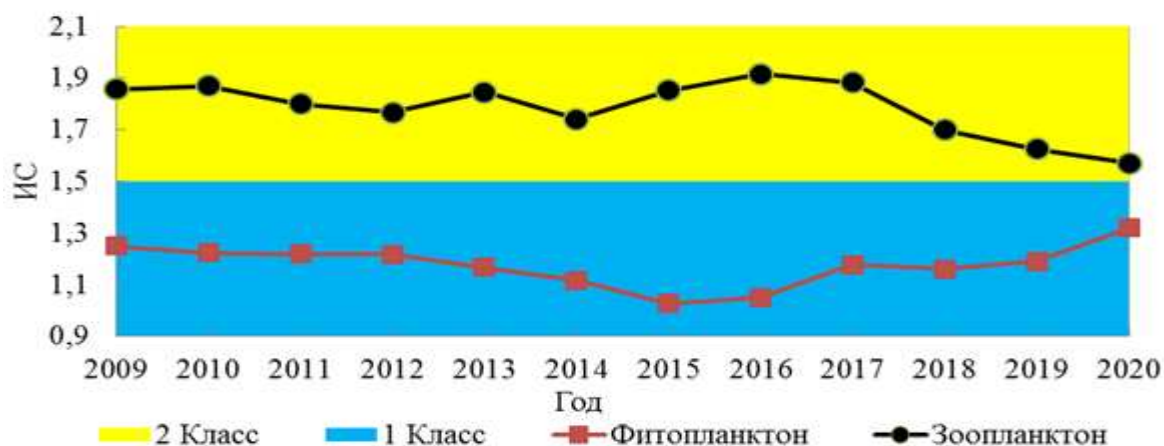


Рис. 3.4.5. Значение ИС в 2009–2020 гг., р. Вите.



Рис. 3.4.6. Значение БИ в 2009–2020 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 34 вида (в 2019 г. – 46, в 2018 г. – 52 вида, в 2017 г. – 49, в 2016 г. – 42, в 2015 г. – 54, в 2014 г. – 55), наибольшее число видов принадлежит диатомовым – 12, зеленых встречено 7, золотистых и харовых по 5, синезеленых – 3, динофитовых – 2. Максимальное развитие водорослей отмечено в августе. Общая численность клеток достигала 2,16 тыс.кл./мл, а биомасса – 1,63 мг/дм³. Доля синезеленых в общем количестве альгофлоры – до 74% ОЧ.

В составе зоопланктона встречен 21 вид (в 2019 г. – 24, в 2018 г. – 18 видов, в 2017 г. – 20, в 2016 г. – 13, в 2015 г. – 24), из которых: по 8 видов коловраток и ветвистоусых и 5 веслоногих ракообразных. Количественные результаты близки прошлогодним значениям. ОЧ изменялась от 0,42 до 8,63 тыс.экз./м³, а биомасса достигала 76,10 мг/м³, максимальные количественные показатели зарегистрированы в августе. В июне доминировали копепоидитные стадии веслоногих ракообразных, в августе по численности – коловратки (*Kellicottia longispina* 58% ОЧ) по биомассе – кладоцеры (67% от всей биомассы планктонной фауны). Олигосапробы *Alonopsis elongata* составляли не более 2% (в 2019 году - 23% ОЧ).

В бентофауне озера встречено 9 видов (в 2019 г. – 6), принадлежащих 3 группам донных организмов. По численности доминировали олигохеты *Enchytraeus albidus*. Количественные показатели значительно ниже прошлогодних: общая численность находилась в пределах 0,75–1,65 тыс.экз./м², а биомасса – 0,10–0,40 г/м². Среди хирономид встречены виды-индикаторы: *Stictochironomus rosenscholdi* (α) и *Polypedilum scalaenum* (β-α).

Значения ИС и БИ в 2009–2020 гг., а также принадлежность динамика изменения класса качества вод по гидробиологическим показателям представлены на рисунках 3.4.7, 3.4.8.

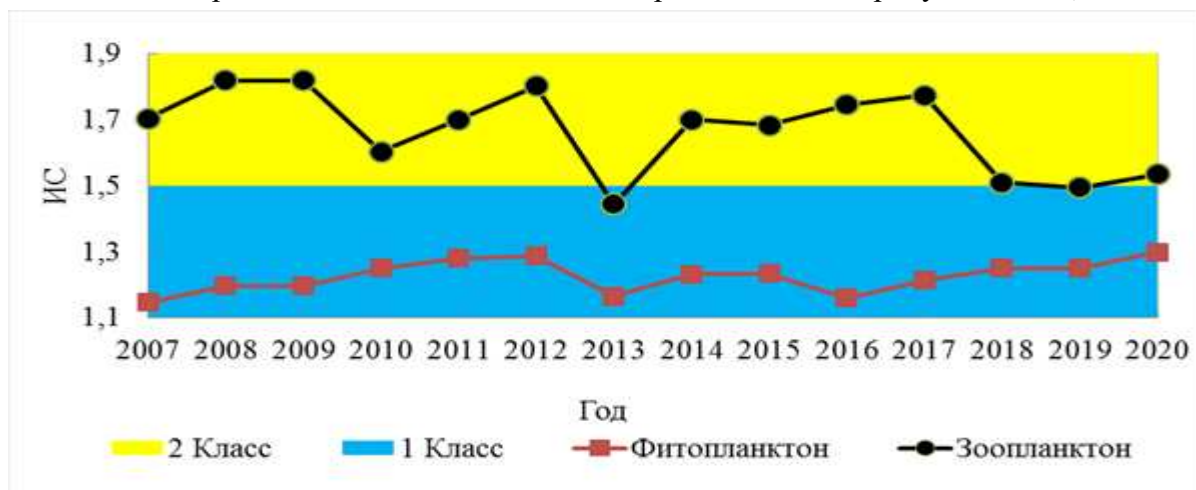


Рис. 3.4.7. Значение ИС в 2009–2020 гг., оз. Чунозеро

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

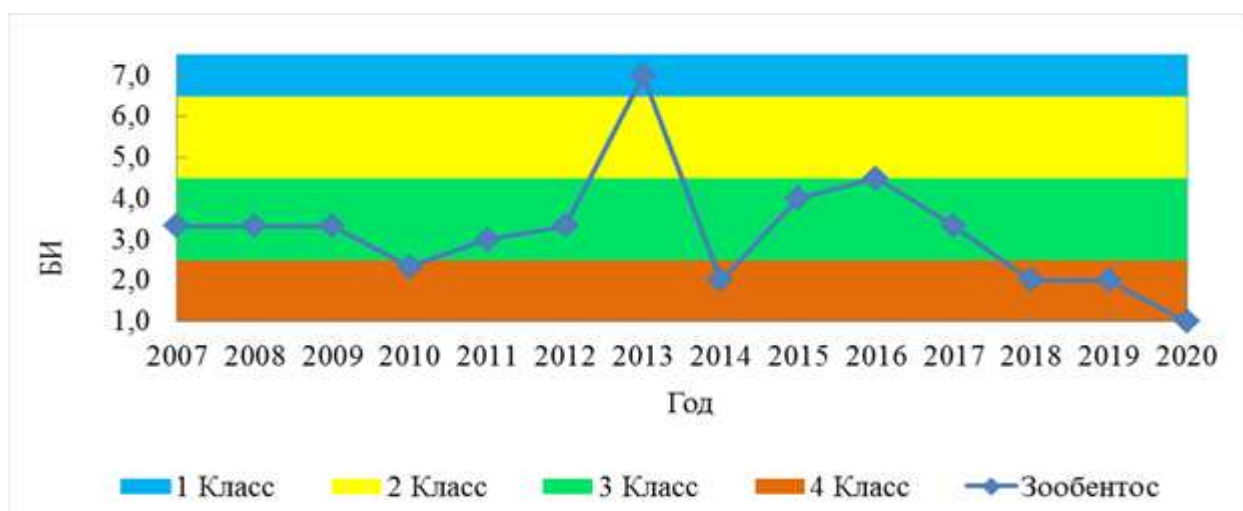


Рис. 3.4.8. Значение БИ в 2009–2020 гг., оз. Чунозеро

Балтийский гидрографический район

Наблюдения в 2020 г. проводились Северо-Западное УГМС на реке Шуя (Республика Карелия) по показателям макрозообентоса.

Бассейн Онежского озера: Река Шуя (нижнее течение и устье). В 2020 г. в составе зообентоса реки встречено 24 вида (в 2019 г. – 28, 2018 г. – 33; 2017 г. - 20 видов, в 2016 году – 7 видов, в 2015 г. – 14), относящихся к 9 таксономическим группам. Из них максимального видового разнообразия достигали хирономиды и ручейники – по 5 видов, поденки и малощетинковые черви – по 4. Минимальное видовое богатство было представлено в группах: моллюски – 2 вида, веснянки, пиявки, стрекозы и жуки – по 1 виду. Видовое разнообразие в пробе варьировало от 5 до 8 видов.

В пробах истокового створа встречено 12 видов. По численности и биомассе доминировали олигохеты и поденки. На устьевом створе – 14 видов, из которых по численности доминировали хирономиды, по биомассе – ручейники.

Изменения значений БИ в 2014–2020 гг., а также принадлежность вод к классам качества по показателям макрозообентоса представлены на рисунке 3.4.9.

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

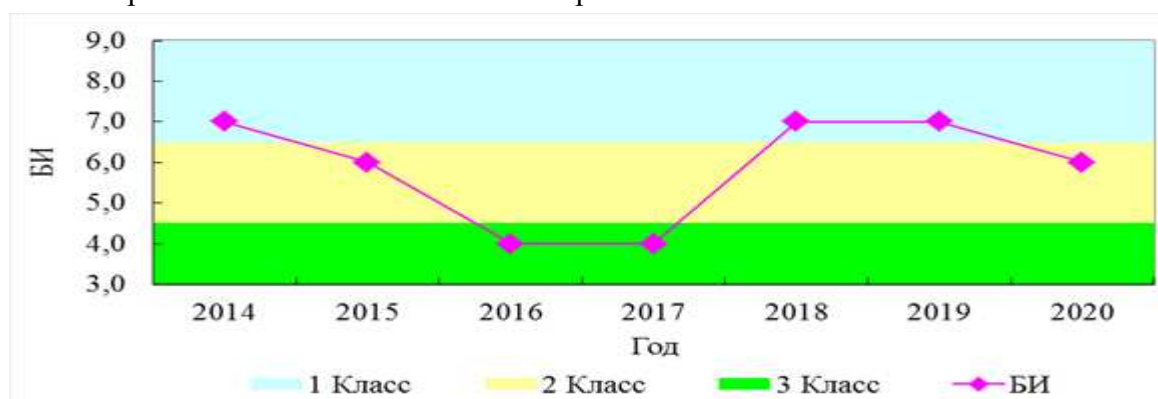


Рис. 3.4.9. Значение БИ в 2014–2020 гг., р. Шуя

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.

Качественное разнообразие фитопланктона насчитывало 63 вида (в 2019 г. – 77): зеленых – 19, диатомовых – 27, синезеленых и криптофитовых – по 5 видов, эвгленовых – 4, золотистых и желтозеленых – по 1 виду. Численность варьировала от 0,38 до 10,45 млн.кл./л, биомасса – от 0,69 до 7,58 мг/л.

В сообществе перифитона встречено 47 видов (2019 г. – 41), из них зооперифитон представлен 11 видами, фитоперифитон – 79 видом. Весной доминировал один вид диатомовых и один вид зеленых водорослей, летом – зеленые и один вид диатомей. Из зооперифитона присутствовали нематоды, олигохеты и хирономиды.

В зоопланктоне озера обнаружено 31 вид (в 2019 г. – 37), из них: коловраток – 13, ветвистоусых ракообразных – 7, веслоногих – 11 (циклопид – 6, каляноид – 5). Преобладали в планктоне весной и осенью коловратки, летом – циклопиды, в 2019 г. – весной и осенью коловратки, летом – циклопиды. Значения численности варьировали от 6,72 до 172,78 тыс.экз./м³, а биомассы – от 48,91 мг/м³ до 870,7 мг/м³.

В зообентосе отмечено 19 видов (в 2019 г. – 7), из 11 групп личинки хирономид – 1, моллюски – 6, пиявки – 3, олигохеты – 2, двукрылые всего 3 вида из них личинок ручейников и мокрецов по – 1 виду), равноногие раки, полихеты, кориксы, водяные клещи, – по 1 виду. Массовыми как по численности, так и по биомассе в период наблюдений были две группы – олигохеты и хирономиды. Численность зообентоса изменялась 160,0 до 4720 экз/м², биомасса – от 0,08 до 4,38 г/м². Основу зообентоса составляли олигохеты и личинки насекомых (поденок, хирономид).

Экосистема находится в состоянии антропогенного напряжения.

Приокско-Террасный биосферный заповедник, реки Тоденка, Пониковка и Сушка. Мониторинг состояния экосистем этих водотоков в 2020 г. осуществлялся по показателям зоопланктон, зооперифитон и зообентос.

Зоопланктон исследованных водоемов и водотоков насчитывает в общей сложности 40 видов (в 2019 г. – 45 видов), из которых: 15 видов – коловраток, 13 – ветвистоусых и 6 – веслоногих раков.

Зообентос исследованных водоемов и водотоков насчитывает в общей сложности 155 видов, групп видов и форм донных беспозвоночных. В 2020 г. список видов пополнился на 3 вида. Наибольшее их число (104) встречены в р. Тоденка. Сообщество зообентоса р. Сушка представлено 86 видами, в р. Пониковка – 48 видов. По количеству видов в группах к массовым относились олигохеты, двукрылые, ручейники, двусторчатые и брюхоногие моллюски, а также поденки. Видовое разнообразие большинства исследованных объектов достаточно велико. Для р. Тоденка количество видов в пробе варьировало от 8 до 16 видов, в р. Сушка – лежало в диапазоне 8–20 видов, для р. Пониковка – 5–6 видов.

В период наблюдений с 2016–2020 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, а экосистема р. Сушка, в связи с тем, что в бассейне реки размещаются населенные пункты, находящиеся за пределами заповедной территории — 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. Створ лежит в одном из рукавов дельтовой части реки Лена.

Фитопланктон р. Лена весьма разнообразен и насчитывает 62 вида (в 2019 г. – 73, в 2018 г. – 63), среди которых по числу видов преобладали диатомовые водоросли – 48, именно они формируют качественный и количественный состав арктических альгоценозов фитопланктона, зеленые водоросли представлены – 9 видами, синезеленые – 5. Ограниченное видовое разнообразие и количественный состав видов-индикаторов антропогенного воздействия из отдела синезеленых показывает, что фитоценоз на створе с. Кюсюр, фактически не испытывает антропогенного воздействия. Количественные характеристики фитопланктона находились в диапазоне многолетних результатов гидробиологического мониторинга.

Качественный состав зообентоса представлен 27 видами (в 2019 г. – 27, 2018 г. – 18; 2017 – 23) из 8 групп, наибольшее число видов из которых принадлежало комарам-звонцам – 7, малощетинковым червям – 6, веснянкам – 4, поденкам и ручейникам – по 3 вида каждый. Двустворчатые моллюски представлены 2 видами, бокоплавы и двукрылые – по 1-му виду. Пространственное распределение видов зообентоса крайне неоднородно, это вызвано тем, что макрозообентос низовий крупных арктических водотоков формируется за счет видов, приносимых сюда паводковыми водами вместе с осадочными породами. Основу зообентоса по числу видов формируют короткоцикловые комары-звонцы, широко распространенные виды олигохет и веснянок.

Среднегодовые значения БИ и ИС в 2007–2019 гг. и класс качества показаны на рисунках 3.4.10, 3.4.11, экосистема находится в состоянии экологического благополучия.

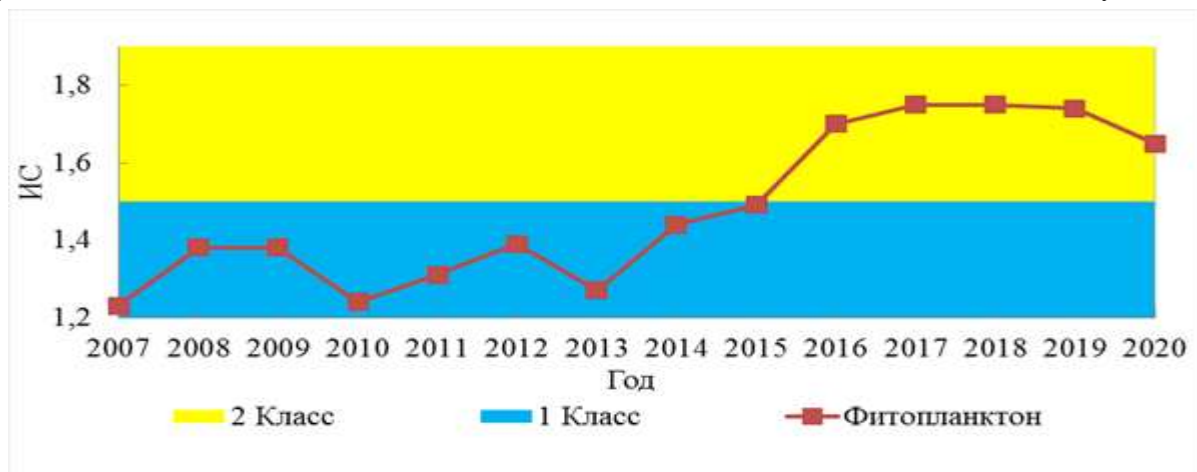


Рис. 3.4.10. Значения ИС в 2007–2020 гг., р. Лена ст. Хабарова

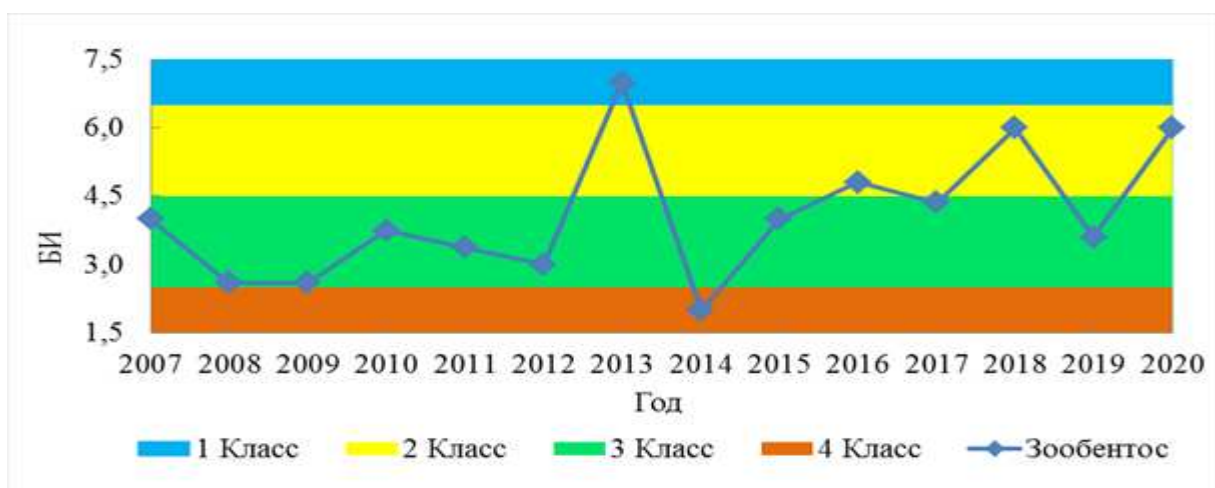


Рис. 3.4.11. Значения БИ в 2007–2020 гг., р.Лена ст.Хабарова

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

В составе фитопланктона реки встречено 25 видов (в 2019 г. – 34; в 2018 г. – 7; 2017 г. – 21), основу фитоценоза как в качественном, так и в количественном отношении формировали космополитические диатомовые – 22 вида, синезеленые – 3 вида. Количественные показатели фитоценоза лежали в диапазоне многолетних наблюдений. Среднегодовые значения БИ и ИС в 2007–2020 гг. приведены на рисунках 3.4.12, 3.4.13.

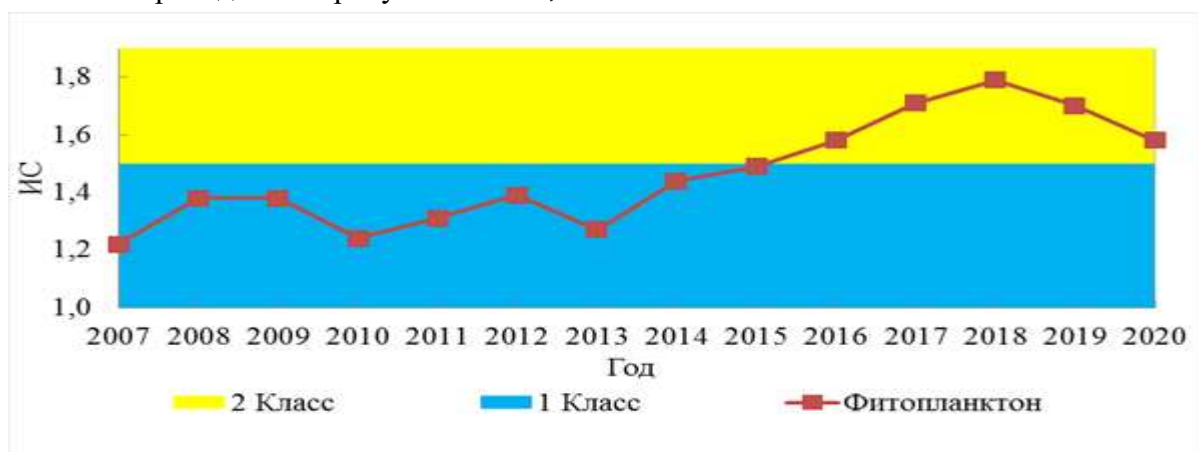


Рис. 3.4.12. Значения ИС в 2007–2020 гг., р. Копчик-Юреге

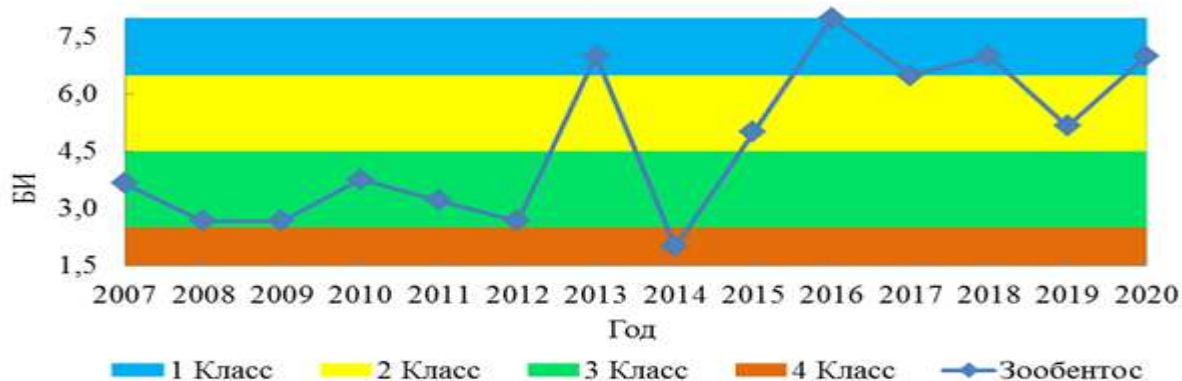


Рис. 3.4.13. Значения БИ в 2007–2020 гг., р. Копчик-Юреге

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 2014-2019 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 фоновое состояние был исследован створ реки в 9 км выше устья, расположенный в охранной зоне государственного природного заповедника «Столбы».

Качественный состав перифитона представлен 100 видами (в 2019 г. – 105; в 2018 г. – 103; 2017 г. – 102) принадлежащими к 15 систематическим группам. Видовое разнообразие перифитона Базаихи практически не изменилось по сравнению с предыдущими годами. В составе фитоперифитона зарегистрировано 62 вида из 5 систематических групп, зооперифитона – 38 видов из 10 систематических групп. В фитоперифитоне ведущее место занимали диатомовые (53 вида), зеленые – представлены 4 видами, синезеленые – 3, мхи и красные водоросли – 1 видом. Следует отметить полное выпадение из фитоценоза на станции в 11 км выше устья реки в 2020 году улотриков, которые в 2017 г. встречались в массовом количестве, а в 2018–2019 гг. отмечались единично. В зооперифитоне наибольшим видовым разнообразием отличались личинки хирономид – 9 видов, поенок – 7 видов и ручейников – 6.

Зоопланктон реки малочисленный, всего обнаружено 19 видов (в 2019 г. – 14; в 2018 г. – 7). Как и в большинстве описанных рек региона, наибольшее видовое разнообразие среди зоопланктонного сообщества принадлежит коловраткам – 11 видов и веслоногим ракам – 5, среди ветвистоусых раков встречено 3 вида. Зоопланктон верхнего и нижнего (9 и 15 видов соответственно) участков беден и мало различается по видовому составу доминирующих видов. Сообщество представлено большей частью транзитными видами, так как высокая скорость течения затрудняет развитие автохтонного зоопланктона. По сравнению с предыдущими 2018–2019 гг. произошло увеличение видового разнообразия зоопланктона. Биоразнообразие р. Базаиха ограничивалось единичными гидробионтами, в основном это были неполовозрелые копеподы и гарпактициды. В целом по исследуемому участку р. Базаиха численность зоопланктона составила $0,9 \pm 0,8$ тыс. экз./м³ и $13,6 \pm 12,5$ мг/м³. На фоновом створе численность $0,10 \pm 0,07$ тыс. экз./м³, биомасса $0,7 \pm 0,4$ мг/м³. На устьевом створе общие величины численности и биомассы сообщества – $1,7 \pm 1,6$ тыс. экз./м³ и $26,6 \pm 24,8$ мг/м³. В сравнении с предыдущими годами величины количественных показателей зоопланктона в 2020 году превышают таковые в 2018–2019 гг. в среднем в 10–15 раз, что объясняется массовым развитием и доминированием в августе веслоногих рачков – гарпактицид ($10,6$ тыс. экз./м³ и $168,5$ мг/м³). Значения ИС в 2010–2020 гг. представлены на рисунке 3.4.14.

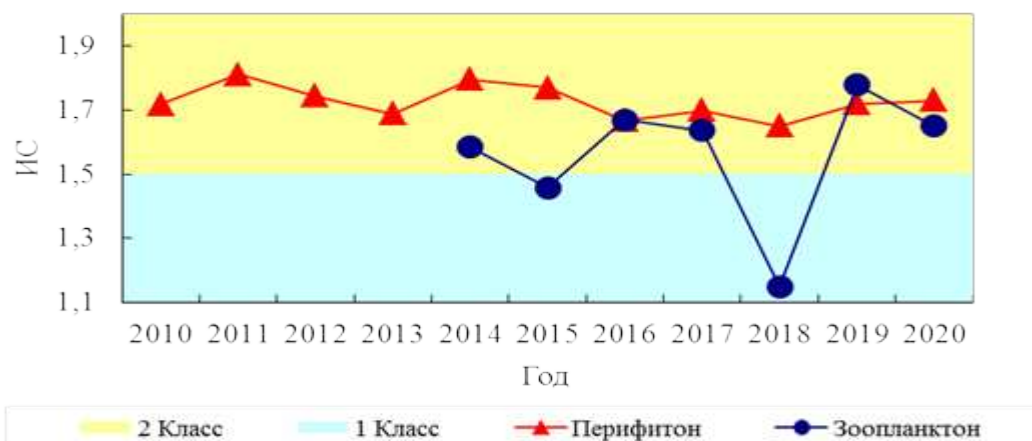


Рис. 3.4.14. Значения ИС в 2010–2020 гг., р. Базаиха

Зообентос представлен 83 видами донных беспозвоночных (в 2019 г. – 88; в 2018 г. – 80; 2017 г. – 66) из 9 систематических групп. Наибольшее число видов приходилось на личинок хирономид – 27 видов, поденок – 18 и ручейников – 16 видов; наименьшее на веснянок – 7 видов, олигохет и двукрылых – по 4 вида. Бокоплавы, жуки, брюхоногие моллюски и стрекозы представлены одним-двумя видами. В пробах 2020 г. не были обнаружены пиявки и планарии.

На станциях преобладали личинки двукрылых, поденок и ручейников, среди которых чаще других встречались β – мезосапробы. Основной вклад в биомассу донного сообщества реки вносили личинки ручейников *Ceratopsyche nevae*, *Stenopsyche marmorata*. Значения БИ в 2010–2020 гг. представлены на рисунке 3.4.15.

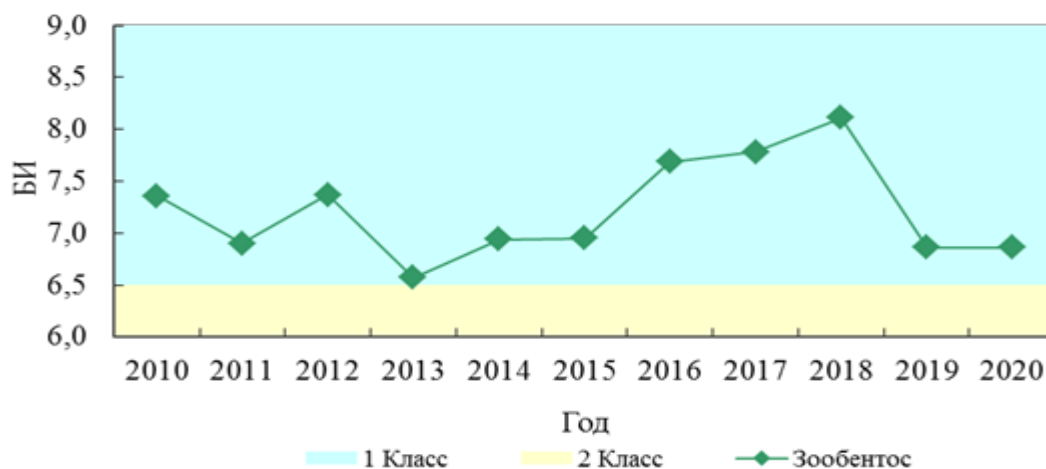


Рис. 3.4.15. Значения БИ в 2010–2020 гг., р. Базаиха

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

Бассейн оз. Байкал, река Джиды. В составе фитопланктона левого притока р. Селенга – р. Джиды встречено 59 видов (в 2019г. – 70, в 2018г. – 72), принадлежащих 2 отделам. Наибольшим разнообразием представлены диатомовые – 54 вида, зелёные – 5. Экологическое состояние вод водотока отражали: ксено – бета, олиго – бета, бета – олиго, бета, альфа мезосапробы, различного уровня трофности. Доминирующий комплекс определяли диатомеи

родов: *Cymbella*, *Cocconeis*, *Fragilaria*, *Diatoma*, *Achnanthes*, *Nitzschia*, *Navicula*. Общая численность составила 1,57 тыс. кл/мл, биомасса 1,27 мг/дм³ (в 2019г. – 3,52 тыс. кл/мл, биомасса – 2,29 мг/дм³). Значения ИС в период 2007–2020 гг. представлены на рисунке 3.4.16.

В 2020 году в составе зоопланктона было встречено 13 видов (2019г. – 8). Наибольшее видовое разнообразие принадлежало ветвистоусым ракам (6 видов), а наименьшее веслоногим ракам (2 вида). Доминантный состав представлен родами *Euchlanis* (30%), *Alona* (13%), *Rhynchotalona* (9%). Группа веслоногих ракообразных состоит из *Cyclops nauplii* и *Mesocyclops*.

В составе зообентоса встречено 14 видов (2019 г. – 13), представлены 6-ю таксономическими группами. Наиболее разнообразны в видовом отношении поденки – 6 видов, веснянки, ручейники и хирономиды по 2 вида, олигохеты и мошки по 1 виду. Количественные показатели биомассы возросли в 3 раза. Общая численность составила 505 экз./м² (в 2019г. – 422 экз./м²) при общей биомассе 2,35 г/м² (в 2019г. – 0,702 г/м²). Значения индексов и соответствующего им классов качества вод в 2007–2020 гг. представлены на рисунке 3.4.16 и 3.4.17.

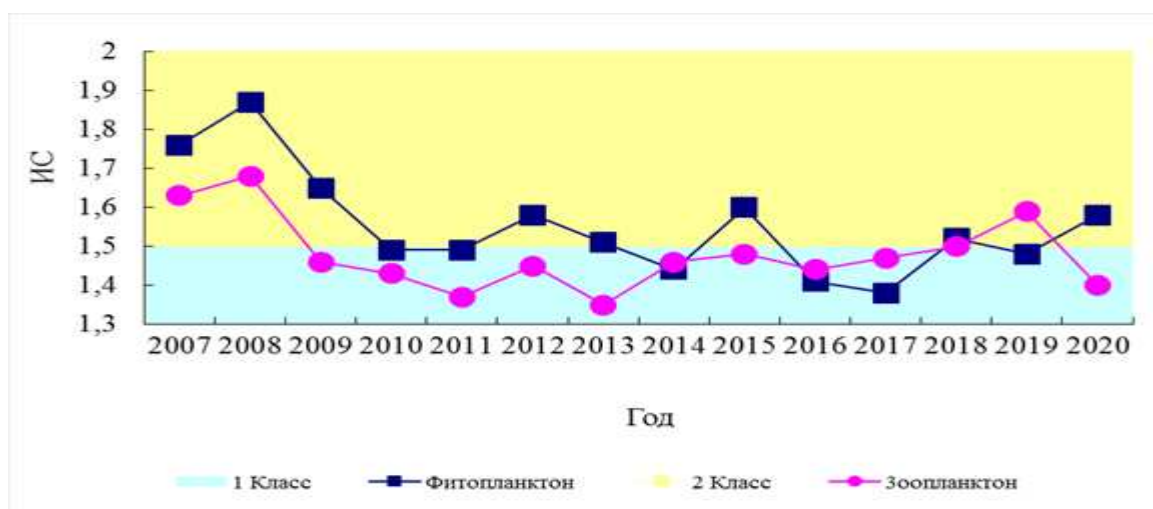


Рис. 3.4.16. Значения ИС в 2007–2020 гг. р. Джиды

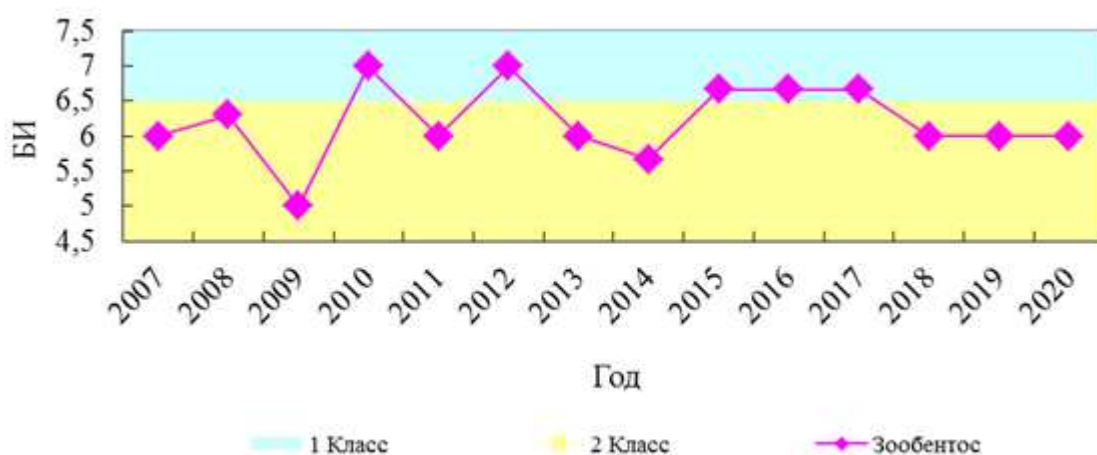


Рис. 3.4.17. Значения БИ в 2007–2020 гг. р. Джиды

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

Тихоокеанский гидрографический район

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

Зоопланктон представлен 8 видами (в 2019 г. – 10), из них: 4 вида веслоногих раков и по 2 вида коловраток и ветвистоусых раков. Численность зоопланктона в реке варьировала от 0,04 до 0,13 тыс. экз./м³, биомасса – от 0,20 до 11,53 мг/м³. На протяжении вегетационного периода наблюдений по биомассе доминировали веслоногие ракообразные. Значения ИС в 2015–2020 гг. представлены на рисунке 3.4.18.

Экосистема находится в состоянии антропогенного экологического напряжения.

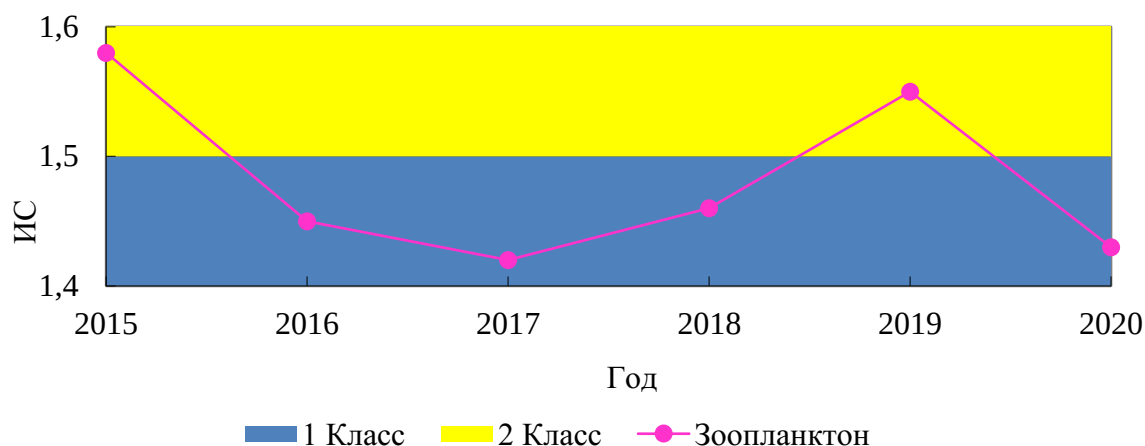


Рис.3.4.18. Значения ИС в 2015–2020 гг., р. Чирка

Закключение

Таким образом, в Баренцевском, Балтийском, Карском и Восточно-Сибирском гидрографических районах на всех 14 фоновых участках выбранных водных объектов экосистемы в 2013-2020 гг. не претерпели серьезных изменений, вариации качества воды лежали в пределах одного класса качества вод.

Состояние экологического благополучия характерно для 11 из 14 фоновых участков: рек Лотта, Витте и Нижняя Чуна (Лапландский БЗ) в Баренцевском гидрографическом районе, трех рек в Приокско-Террасном БЗ в Каспийском гидрографическом районе, р. Джиды бассейна оз. Байкал в Карском гидрографическом районе, дельты р. Лена (БЗ «Усть-Ленский») и в р. Копчик-Юреге в Восточно-Сибирском гидрографическом районе. Из них только в 4-х наблюдаемых фоновых пунктах (реки Тоденка и Пониковка в Приокско-Террасном БЗ, р. Лена в дельте и р. Копчик-Юреге) не выявлены признаки антропогенного воздействия. В остальных фоновых объектах присутствуют признаки антропогенного экологического напряжения экосистем.

4. МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ

4.1 Березинский биосферный заповедник (Республика Беларусь)

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

Атмосферный воздух.

По результатам стационарных наблюдений, в 2020 г. содержание в атмосферном воздухе большинства определяемых загрязняющих веществ существенно не изменилось.

Согласно рассчитанным значениям индекса качества атмосферного воздуха, состояние воздуха в 2020 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 4.1.1).

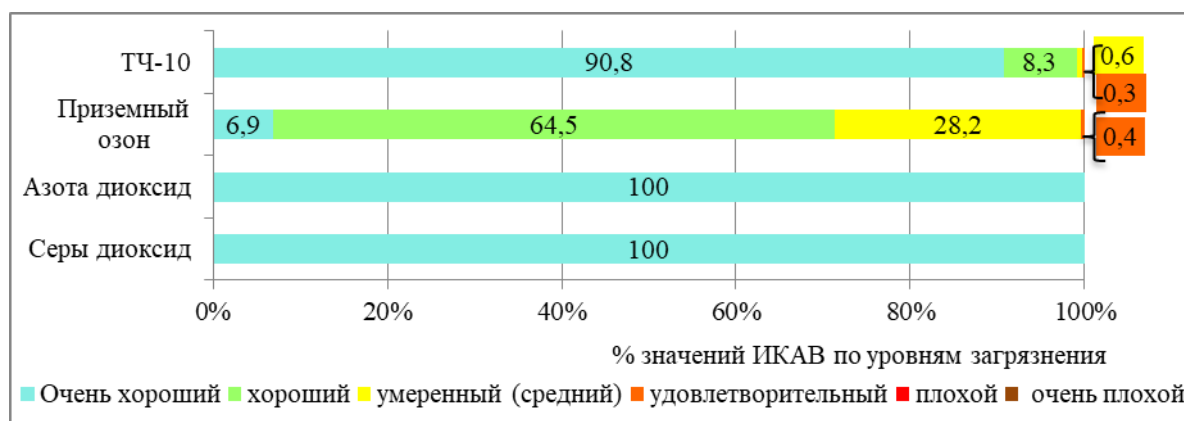


Рис. 4.1.1. Распределение значений ИКАВ (%) в 2020 г. по результатам мониторинга СФМ Березинский заповедник

Серы диоксид. По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация серы диоксида составляла 5,8 мкг/м³ (0,12 ПДК) и была незначительно ниже, чем в 2019 г. Максимальная среднесуточная концентрация 20,7 мкг/м³ (0,1 ПДК) зафиксирована 14 июня. Сезонные изменения содержания в воздухе серы диоксида не имели ярко выраженного характера.

Азота диоксид. Среднегодовая фоновая концентрация азота диоксида составляла 3,1 мкг/м³ (0,08 ПДК) и была чуть выше, чем в 2019 г. Максимальная среднесуточная концентрация 0,09 ПДК зафиксирована 18 ноября. В первом полугодии значения среднемесячных концентраций находились на одном уровне, некоторое увеличение содержания азота диоксида наблюдалось в октябре-декабре.

Сульфаты растворимые. Среднегодовая фоновая концентрация сульфатов растворимых составила 1,31 мкг/м³ и была на уровне прошлого года (в 2019 г. – 1,45 мкг/м³). Минималь-

ное содержание сульфатов растворимых в атмосферном воздухе зафиксировано в августе: среднемесячная концентрация составляла $0,69 \text{ мкг/м}^3$; максимальная среднемесячная концентрация ($2,14 \text{ мкг/м}^3$) – в октябре. Максимальная среднесуточная концентрация сульфатов растворимых составляла $5,93 \text{ мкг/м}^3$ (5 декабря).

Твердые частицы суммарно (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль). Среднегодовая фоновая концентрация твердых частиц суммарно (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль), как и в 2019 г., составляла $15,4 \text{ мкг/м}^3$. В теплый период года содержание в воздухе твердых частиц было выше, чем в холодный период (рисунок 4.1.2). Существенное увеличение концентраций твердых частиц отмечено в первых числах октября и связано с трансграничным переносом, что подтверждает информация Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, полученная в результате проведения скоординированных дистанционных спутниковых и наземных измерений а также моделирования переноса атмосферных примесей с использованием многоволнового поляризационного лидара. Максимальная среднесуточная концентрация твердых частиц, зафиксированная 1 октября, составила $184,5 \text{ мкг/м}^3$ (1,23 ПДК). Минимальное содержание в воздухе твердых частиц наблюдалось в феврале.

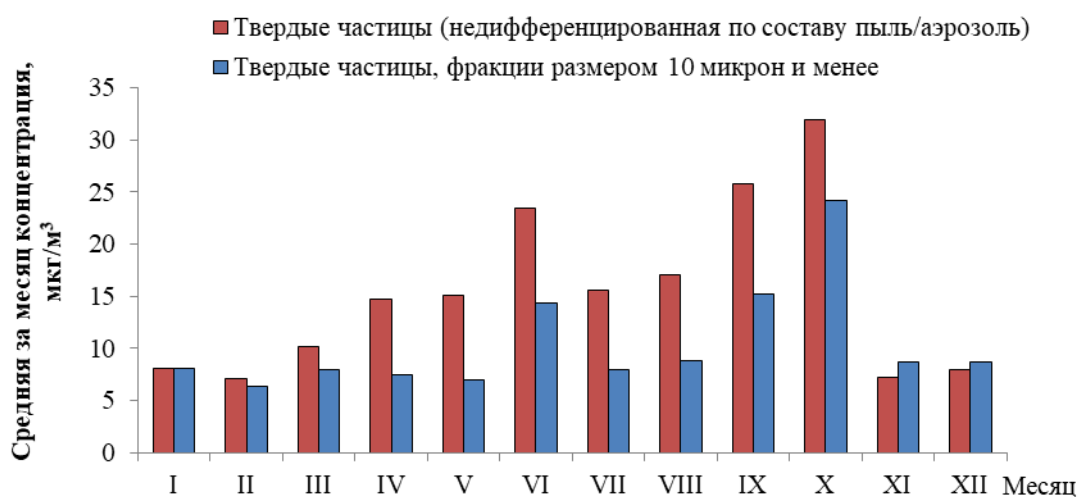


Рис. 4.1.2. Внутригодовое распределение концентраций твердых частиц в атмосферном воздухе Березинского заповедника, 2020 г.

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 микрон и менее. По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация ТЧ-10 составила $10,6 \text{ мкг/м}^3$ (0,2 ПДК). Количество дней со среднесуточными концентрациями выше 25 мкг/м^3 (0,5 ПДК) составляло 6,8 % (в 2018 г. и 2019 г. – 2,9 % и 3,2 % соответственно). В годовом ходе существенное увеличение содержания в воздухе ТЧ-10 зафиксировано в октябре, что подтверждает выводы Института физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси о трансграничном переносе дымов пожаров из

Воронежской области Российской Федерации (рисунок 2). Случай превышения среднесуточной ПДК в 1,4 раза по ТЧ-10 зафиксирован в третьей декаде сентября. В период с 1 по 4 октября среднесуточные концентрации ТЧ-10 превышали норматив ПДК в 1,1-2,4 раза.

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

Тяжелые металлы и бенз(а)пирен. Концентрации свинца и кадмия были ниже пределов обнаружения. Содержание бенз(а)пирена в воздухе определяли в отопительный сезон: концентрации бенз(а)пирена в январе-марте были ниже предела обнаружения, в октябре-декабре варьировались в диапазоне 0,45-0,53 нг/м³.

Бензол. Содержание в воздухе бензола было по-прежнему значительно ниже норматива ПДК. Максимальная среднесуточная концентрация бензола 0,3 мкг/м³ (0,01 ПДК) зафиксирована 11 января.

Приземный озон. По данным непрерывных измерений, среднегодовая фоновая концентрация приземного озона составляла 58 мкг/м³ и была на уровне прошлого года (в 2019 г. – 56 мкг/м³). В годовом ходе существенное увеличение содержания в воздухе приземного озона отмечено в апреле. Максимальные среднесуточные концентрации незначительно (до 1,1 раза) превышали норматив ПДК в течение 8 дней. В осенние месяцы наблюдалось снижение содержания приземного озона.

Углерода диоксид. Среднегодовая фоновая концентрация углерода диоксида составляла 879 мг/м³ и была выше, чем в прошлом году (в 2019 г. – 833 мг/м³). Максимальные среднемесячные значения (884-886 мг/м³) отмечены в апреле и октябре-декабре, минимальные (865-872 мг/м³) – в феврале и июне-июле. Среднесуточные концентрации варьировались в широком диапазоне: от 775 мг/м³ до 950 мг/м³.

По данным непрерывных измерений, среднегодовые концентрации диоксида углерода в 2010-2020 гг. варьируются в диапазоне от 789 мг/м³ до 879 мг/м³ и согласуются с данными зарубежных станций фонового мониторинга.

4.2 Станция комплексного фонового мониторинга Боровое (Республика Казахстан)

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

В конце 1970х в Боровом была организована первая станция системы комплексного фонового мониторинга, проработавшая до распада СССР. Информация о загрязнении природных сред поступала в БД «Фоновый мониторинг» до 2001 года, затем последовал перерыв. В этом году обмен информацией возобновился. Характеристика загрязнения природных сред в районе расположения СКФМ «Боровое» дается согласно Информационному бюллетеню о состоянии окружающей среды на территории Республики Казахстан за 2020 год выпуск №03 (29), подготовленного департамент экологического мониторинга РГП «Казгидромет». Необходимо отметить, что вследствие смены методик отбора и анализа проб, сопоставить напрямую данные, получаемые в настоящее время и в 1980-1990х гг. не представляется возможным.

Общая оценка загрязнения атмосферы СКФМ Боровое.

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

За 2020 год по данным стационарной сети наблюдений, уровень загрязнения атмосферного воздуха СКФМ Боровое оценивался как низкий, он определялся значением ИЗА=2 (низкий уровень), СИ=0,9 (низкий уровень) и НП=0% (низкий уровень).

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

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

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

Химический состав атмосферных осадков

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

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

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

Наибольшая общая минерализация отмечена на МС СКФМ «Боровое» – 58,4 мг/л, наименьшая – 30,5 мг/л на МС Щучинск.

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

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

Загрязнение почв

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

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

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

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

Поверхностные воды

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

Донные отложения

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

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

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

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка трендов фоновой содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и осадках за последние 15-20 лет, включая 2020 г., на территории Беларуси и России, свидетельствует о сохранении на их территории условий, обеспечивающих низкие фоновые уровни концентрации свинца, кадмия, соединений серы и азота, бенз(а)пирена, пестицидов в природной среде. Однако анализ изменения содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на Европейской территории России показывает, что наблюдавшееся в 1990-х снижение концентраций, обусловленное спадом промышленного производства, прекратилось в 2000-2001 г., и можно ожидать увеличение фоновой загрязненности атмосферы некоторыми загрязняющими веществами.

Уровень концентрации CO₂ в атмосфере северных широт достиг в 2020 г. очередного максимума: среднегодовое значение на фоновых станциях превысило 415 млн⁻¹, а максимальные за год концентрации, наблюдаемые в зимние месяцы, превзошли значение 420 млн⁻¹. Концентрация метана также продолжает увеличиваться. 2020 г. характеризуется значительным возрастанием CH₄ на станции Териберка (на 18,6 млрд⁻¹) и Тикси (9,9 млрд⁻¹). Однако указанные значения не выходят за пределы вариаций межгодового роста на этих станциях за последние 5 лет наблюдений. Превышение концентрации парниковых газов над фоновым уровнем в 2020 г. на станциях Новый порт и Воейково не выходит за пределы вариаций, наблюдаемых за многолетний период.

Отклонения среднемесячных значений ОСО над территорией России от нормы находятся в интервале от -40% до +14%. Над всей территорией РФ в 2020 г. средняя за год толщина озонового слоя составила 336 е.Д. и оказалась ниже нормы (353 е.Д.) на -4,6%.

В 2020 г. по сравнению с предыдущим годом на семи станциях из десяти оптическая плотность атмосферы повысилась. Максимальное повышение ОПА было зафиксировано на станции Туруханск (48%) за счет аномально высокого уровня оптического замутнения атмосферы в августе, обусловленного влиянием лесных пожаров, что также повлекло за собой увеличение среднегодового значения ОПА. На станции Иркутск ОПА не изменилась и только на двух станциях, Усть-Вымь и о-в Диксон, ОПА снизилась. Наибольшее снижение ОПА было зафиксировано на о-ве Диксон, -63,5%. На станциях, работающих по программе фоновой мониторинга, за последние 20 лет не было зафиксировано значимых трендов среднегодовых значений оптической плотности атмосферы, хотя визуально прослеживается незначительная тенденция увеличения ОПА на парных станциях Усть-Вымь – Сыктывкар и Памятное – Курган.

По сравнению с предшествующим периодом (2015 – 2019 гг.) в 2020 году не отмечалось существенных изменений градиента потенциала электрического поля атмосферы.

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

В 2020 г. по данным наблюдений на станциях фоновой мониторинга химического состава осадков, входящих в качестве региональных в состав сети Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, содержание отдельных ионов, минерализация, удельная электропроводность и величина pH отличались от среднемноголетних годовых значений не более чем 10%.

На российских станциях ЕМЕП в 2020 г. кислые осадки (pH < 4) практически не наблюдались; на всех станциях повторяемость выпадений атмосферных осадков с pH от 5 до 6

превышала 45%. 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. Сравнение годовых выпадений серы и суммарного азота с осадками в 2020 г. и значений критических нагрузок по этим элементам позволяют сделать вывод, что выпадения серы существенно ниже уровня критических нагрузок для западных и центральных районов России, находятся на уровне или немного превышают (в отдельные годы) расчетные критерии в северо-западных частях ЕТР. На северных станциях ЕМЕП суммарные выпадения азота также близки к критическим значениям, что является тревожным сигналом с учетом существующих тенденций изменения выпадений азота с осадками к росту год от года.

По данным измерений на станциях ЕАНЕТ в 2020 г. среднегодовое содержание газовых примесей в воздухе на всех региональных станциях увеличилось по сравнению с предыдущим годом, а среднее содержание SO_2 на станции Листвянка превысило уровни, отмеченные на других станциях ЕАНЕТ. В 2020 г. было отмечено снижение концентраций азот- и серосодержащих аэрозолей в целом на всех станциях. В 2020 г. сезонные изменения выпадений веществ определялись, главным образом, годовым ходом осадков.

В зимний период 2019-2020 гг. большая часть территории страны была подвержена воздействию фоновых и близких к фоновым потоков серы с атмосферными осадками – менее $20 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес.}$. На 50 % территории РФ показатель интенсивности выпадения азота находится в пределах $10 - 15 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес.}$, а практически для всей территории АЧР характерна интенсивность выпадения азота менее $10 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес.}$. Исключением является Приморский край ($15 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес.}$). На более чем 80 % территории РФ среднемесячный показатель рН по регионам находился в пределах 5,5 – 6,5 единиц.

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 участков вокруг населенных пунктов регионов РФ как благополучное, накопления в них ТПП за 20-летний период не отмечается.

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

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

По результатам фоновых наблюдений в 2020 году за содержанием химических веществ в поверхностных водах в районах станций сети ЕАНЕТ увеличения содержания основных ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+}) и кислотности для р. Комаровка (Приморье) не наблюдалось. В водах р. Переменная уровни основных ионов в течение последних 9 лет в целом сохраняются стабильными при низкой буферной способности воды к нейтрализации кислотных компонентов.

На всех фоновых участках выбранных водных объектов в Баренцевском, Балтийском, Карском и Восточно-Сибирском гидрографических районах в 2013-2020 гг. экосистемы не претерпели серьезных изменений, вариации качества воды лежали в пределах одного класса

качества вод. Состояние экологического благополучия характерно для 11 из 14 фоновых участков: рек Лотта, Витте и Нижняя Чуна (Лапландский БЗ) в Баренцевском гидрографическом районе, трех рек в Приокско-Террасном БЗ в Каспийском гидрографическом районе, р. Джида бассейна оз. Байкал в Карском гидрографическом районе, дельты р. Лена (БЗ «Усть-Ленский») и в р. Копчик-Юреге в Восточно-Сибирском гидрографическом районе. Из них только в 4-х наблюдаемых фоновых пунктах (реки Тоденка и Пониковка в Приокско-Террасном БЗ, р. Лена в дельте и р. Копчик-Юреге) не выявлены признаки антропогенного воздействия. В остальных фоновых объектах присутствуют признаки антропогенного экологического напряжения экосистем.

Содержание приоритетных загрязняющих веществ в природных средах на станции КФМ «Березинский БЗ» (Республика Беларусь) свидетельствует о низком уровне фонового загрязнения, не представляющим опасности для экосистем Березинского биосферного заповедника и их компонентов. В целом уровень загрязнения природных сред в районе расположения этой станции мониторинга соответствует уровню загрязнения природных сред европейской части России.

Содержание приоритетных загрязняющих веществ в природных средах на станции КФМ «Боровое» (Республика Казахстан) свидетельствует о низком уровне фонового загрязнения, не представляющим опасности для экосистем Щучинско-Боровской курортной зоны.

Список сокращений

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

СПИСОК АВТОРОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ				Парамонов С.Г.	ФГБУ «ИГКЭ»
ВВЕДЕНИЕ				Буйволов Ю.А.	ФГБУ «ИГКЭ»
1	АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ И ОСАДКИ				
.	1.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе		Парамонов С.Г., Александрова М.С., Иванов В.А., Галушин Д.А., Козлова Е.Н.	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.2.	Физические и химические характеристики атмосферы		Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Ивахов В.М., Русина Е.Н., Боброва В.К., Соломатникова А.А., Волохина Д.Ю., Жукова М.П. Вязанкин А.С., Цветкова Н.Д., Банкова Т.В, Варгин П.Н., Лукьянов А.Н., Юшков В.А.	ФГБУ «ГГО» ФГБУ «ЦАО»
	1.3.	Химический состав атмосферных осадков			
		1.3.1	Загрязняющие вещества в атмосферных осадках	Парамонов С.Г., Бурцева Л.В., Конькова Е.С., Александрова М.С., Пастухов Б.В., Позднякова Е.А., Конькова А.С.	ФГБУ «ИГКЭ»
		1.3.2	Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков	Першина Н.А., Павлова М.Т., Семенец Е.С., Полищук А.И., 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., Галушин Д.А., Кручина Е.Б. Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Нецветаева О.Г.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУН «ЛИН СО РАН»
	1.5.	Выпадения серы и азота в результате трансграничного переноса загрязняющих веществ		Брускина И.М., Громов С.А., Ахметова Б.Р., Иванов В.А., Конькова Е.С.,	ФГБУ «ИГКЭ»
	1.6	Фоновый уровень выпадений серы и азота по данным о загрязнении снежного покрова в регионах Российской Федерации		Манзон Д.А., Беспалов М.С.	ФГБУ «ИГКЭ»
2.	ПОЧВА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ				
	2.1	Фоновое содержание загрязняющих веществ в почвах и растительности по данным сети станций комплексного фонового мониторинга		Парамонова Т.А., Черногаева Г.М., Позднякова Е.А., Саратовцева Е.Е.	МГУ им. М.В. Ломоносова ФГБУ «ИГКЭ»
	2.2	Содержание загрязняющих веществ в почвах фоновых участков промышленных регионов по результатам наблюдательной сети Росгидромета		Павлова Н.Н., Лукьянова Н.Н.	ФГБУ «НПО «Тайфун»
	2.3	Результаты наблюдений за состоянием растительности в Центральном-Лесном биосферном заповеднике (подпрограмма «Растительность» международной совместной программы комплексного мониторинга Конвенции ЕЭК ООН)		Безделова А.П., Позднякова Е.А.	ФГБУ «ИГКЭ»
3.	ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ				
	3.1.	Фоновые уровни загрязняющих веществ по данным сети СКФМ		Парамонов С.Г., Бурцева Л.В., Алехина М.А., Пастухов Б.В.	ФГБУ «ИГКЭ»
	3.2.	Данные станций гидрохимических наблюдений		Романюк О.Л, Лобченко Е.Е., Емельянова В.П., Первышева О.А.	ФГБУ «ГХИ»
	3.3	Содержание основных кислотообразующих веществ в поверхностных водах на станциях мониторинга ЕАНЕТ		Жигачева Е.С., Громов С.А., Рычкова А.А. Томберг И.В., Ходжер Т.В.	ФГБУ «ИГКЭ» ФГБУН «ЛИН СО РАН»
	3.4.	Фоновое состояние пресноводных экосистем по гидробиологическим показателям		Потютко О.М.*, Буйволов Ю.А., Быкова И.В., Кандыба И.В., Лазарева Г.С., Никонорова Д.В., Лукашина Л.С., Гусева Т.А.	ФГБУ «ИГКЭ»
4	МНОГОЛЕТНЕЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА СТАНЦИЯХ СКФМ СНГ			Срыбный А.В., Мельник Е.А. Департамент экологического мониторинга Парамонов С.Г.	Березинский БЗ (Республика Беларусь) РГП «Казгидромет» (Республика Казахстан) 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 2020.

Edited by Professor G. M. Chernogaeva

The Review summarizes the results of background monitoring of the state of the natural environment in the CIS countries in 2020. The review contains data on the levels of pollutants and trends of long-term changes in measured substances in the atmosphere and atmospheric precipitation, in soil, vegetation and surface waters in the background areas, as well as the results of an environmental assessment of the state of terrestrial and aquatic ecosystems.

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

Conclusions

The assessment of the trend in the background content of pollutants in atmospheric air and precipitation over the past 15-20 years, including 2020, on the territory of Belarus and Russia, shows that conditions that ensure low background levels of lead, cadmium, sulfur and nitrogen compounds, Benz(a)pyrene, and pesticides in the natural environment remain in the territory of these States. However, the analysis of changes in the content of pollutants in the atmospheric air on the European territory of Russia shows that the decrease in concentrations observed in the 1990s due to the decline in industrial production stopped in 2000-2001, and we can expect an increase in background air pollution with certain pollutants.

The level of CO₂ concentration in the atmosphere of northern latitudes reached another maximum in 2020. The average annual value at background stations exceeded 415 million⁻¹, and the maximum annual concentrations observed in the winter months exceeded the value of 420 million⁻¹. The concentration of methane also continues to increase. 2020 is characterized by a significant increase in CH₄ at the Teriberka station (18.6 billion⁻¹) and Tiksi (9.9 billion⁻¹). However, these values do not go beyond the variations of interannual growth at these stations over the last 5 years of observations. The excess of greenhouse gas concentrations above the background level in 2020 at the Novy Port and Voeykovo stations does not exceed the limits of variations observed over a multi-year period.

Deviations of the average monthly values of the total ozone content over the territory of Russia from the norm are in the range from -40% to +14%. Over the entire territory of the Russian Federation in 2020, the average annual thickness of the ozone layer was 336 e. d. and was below the norm (353 DU) by -4.6%.

In 2020, compared to the previous year, the optical density of the atmosphere (ODA) increased at seven out of ten stations. The maximum increase in ODA was recorded at the Turukhansk station (48%) due to an abnormally high level of optical turbidity of the atmosphere in August, due to the influence of forest fires and resulting in an increase in the average annual value of ODA. At the Irkutsk station, the OPA has not changed and only at two stations, Ust-Vym and Dixon, the ODA has decreased. The largest decrease in OPA was recorded on Dixon Island, -63.5%. At the stations operating under the background monitoring program, no significant trends in the average annual values of the optical density of the atmosphere have been recorded over the past 20 years, although there is a slight tendency to increase the OPA at the paired stations Ust-Vym – Syktyvkar* and Pamyatnaya –

Kurgan.

In comparison with the previous period (2015 – 2019), there were no significant changes in the gradient of the potential of the electric field of the atmosphere in 2020.

In 2020, the average annual background concentrations of trace metals in atmospheric precipitation remained low.

In 2020, according to observations at the background monitoring stations for chemical precipitation and atmospheric composition that are part of the WMO Global atmospheric service network, the content of individual ions, mineralization, specific electrical conductivity, and pH values differed from the long-term average annual values by no more than 10%

At Russian EMEP stations in 2020, acid precipitation ($\text{pH} < 4$) was almost not observed; at all stations, the frequency of precipitation with a pH of 5 to 6 exceeded 45%. For all EMEP stations, the fluxes of wet precipitation of sulfur and nitrogen in winter were significantly lower than in summer. The proportion of ammonium nitrogen was about 60% of the total wet nitrogen deposition. Comparison of annual precipitation of sulfur and total nitrogen with precipitation in 2020 and the values of critical loads for these elements allow us to conclude that sulfur deposition is significantly lower than the level of critical loads for the Western and Central regions of Russia, and is at or slightly higher (in some years) than the calculated criteria in the North-Western parts of the ETR. For nitrogen at the Northern EMEP stations, total precipitation is also close to critical values, which is an alarming signal given the current trends in nitrogen precipitation with precipitation increasing from year to year.

According to measurements at the EANET stations, in 2020 the average annual content of gas impurities in the air at all regional stations increased compared to the previous year, and the average SO_2 content at the Listvyanka station exceeded the levels noted at other EANET stations. In 2020, there was a decrease in the concentrations of nitrogen and sulfur - containing aerosols in general at all stations. In 2020, seasonal changes in precipitation of substances were determined mainly by the annual course of precipitation.

In the winter period of 2019-2020, most of the country's territory was exposed to background and near-background sulfur fluxes with atmospheric precipitation of less than $20 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$. At the same time, the Murmansk ($33 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$) and Kurgan ($29 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$) regions, the Krasnoyarsk Territory ($28 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$) and the Republic of Khakassia ($25 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$), despite the elimination of PN with the amount of ions above 15 mg/l , show an increased intensity of sulfur deposition on the snow cover. In the winter period of 2019-2020, on 50% of the territory of the Russian Federation, the intensity of nitrogen deposition is in the range of $10\text{-}15 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$, and almost the entire territory of the ACR is characterized by the intensity of nitrogen deposition less than $10 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$. The exception is the Primorsky Territory ($15 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{month}$) - a border area that is a major transport hub for international transport and is experiencing a significant anthropogenic load. In more than 80 % of the territory of the Russian Federation, the average monthly pH indicator for the regions was in the range of 5.5-6.5 units.

According to the results of the monitoring in 2011-2020, the content of trace metals and persistent organic pollutants in the soils, as well as vegetative organs of woody and herbaceous vegetation of the background monitoring areas is within the range of average monthly-summer values. The content of priority organic pollutants in soils characterizes their ecological state as generally safe.

Analysis of the values of background mass fractions of industrial toxicants in the soils of the

Russian Federation allows us to assess the state of the soils of the background areas as safe.

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

Analysis of surface water quality by hydrochemical indicators showed that in 2020, compared to 2019, the water quality at water bodies with a high level of pollution changed little. The number of gates with a high level of water pollution on water bodies of the Russian Federation remained the same.

In 2020 based on the results of background observations of the content of chemicals in surface waters in the areas of EANET stations, there was no increase in the content 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 Barents, Baltic, Kara and East Siberian hydrographic regions, in all 14 background areas of the selected water bodies, the ecosystems did not undergo serious changes in 2013-2020, the variations in water quality lay within the same water quality class. The state of ecological well-being is typical for 11 of the 14 background sites: the Lotta, Witte and Lower Chuna rivers (Lapland BZ) in the Barents hydrographic Region, three rivers in the Prioksko-Terrasny BZ in the Caspian hydrographic region, the Djida River of the lake basin. Baikal in the Kara hydrographic region, the delta of the Lena (BZ "Ust-Lensky") and in the Kopchik-Yureg River in the East Siberian hydrographic region. Of these, only 4 observed background points (the Todenka and Ponikovka rivers in the Prioksko-Terrasny BZ, the Lena River in the delta and the Kopchik-Yureg River) showed no signs of anthropogenic impact. In the remaining background objects, there are signs of anthropogenic ecological stress of ecosystems.

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

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