

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА ИМЕНИ
К.А.ТИМИРЯЗЕВА»

(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА)

На правах рукописи

ГАЛУШИН ДМИТРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ НА
ТЕРРИТОРИИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ И ЮЖНОЙ СИБИРИ**

Специальность 1.6.18. – Науки об атмосфере и климате.

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель

канд. с. – х. наук С.М. Авдеев

Москва – 2023

Содержание

Введение	3
Глава 1 Атмосферные выпадения и состояние их изученности на территории Приморья и юга Восточной Сибири.....	10
1.1 О кислотных выпадениях и атмосферных аэрозолях	10
1.2 Исследования атмосферных примесей в Приморье и юга Восточной Сибири	12
1.3 Источники загрязнения атмосферы исследуемой территории и воздействие на окружающую среду	17
Основные выводы по 1 главе	23
Глава 2 Особенности климатических условий регионов исследования	25
2.1 Физико-географическая характеристика территорий.....	25
2.2 Особенности атмосферной циркуляции Приморья и юга Восточной Сибири.....	31
Основные выводы по 2 главе	41
Глава 3 Объекты и методы исследования.....	43
3.1 Объекты исследований	43
3.2 Методы исследования.....	46
3.3. Методики химического анализа.....	54
3.3.1. Определение сульфат-иона.....	54
3.3.2. Определение нитрат-иона.....	55
3.4 Интерполяция данных о содержании концентраций сульфатов в геоинформационной системе QGIS.....	56
3.4.1 IDW – Обратное Взвешенное Расстояние.	57
3.4.2 TIN – Нерегулярная Триангуляционная Сеть.....	60
3.4.3 Интерполяция данных с помощью Thin Spline Global	62
Глава 4. Анализ содержания сульфатов и нитратов в атмосферных осадках на территории Приморья и юга Восточной Сибири	67
4.1. Межгодовая динамика концентраций сульфатов и нитратов на исследуемых территориях за период с 2003 по 2020 гг.	72
4.2. Оценка суммарного выпадения соединений серы и азота с атмосферными осадками	89
Основные выводы по 4 главе	98
Заключение	100
Список сокращений и условных обозначений.....	102
Список Литературы	103

Введение

Актуальность темы исследования. Атмосферные осадки являются важным индикатором, по которому можно говорить об экологическом состоянии отдельно рассматриваемого региона. При измерении кислотности осадков используют водородный показатель pH – величина, обозначающая концентрацию ионов водорода. В чистой воде показатель pH будет равен 7, но за счет того, что влага в атмосфере усваивает углекислый газ водородный показатель снижается до 5,6. В тех регионах, где существует большое количество предприятий pH дождевой будет снижаться и нередко иметь опасные значения кислотности.

Впервые термин кислотные осадки был введен химиком Робертом Смитом в 1872 г., где он в монографии «Воздух и дождь: начало химической климатологии» описывал смог нависшего над районом Манчестера (промышленный кластер). Более серьезно к этой проблеме стали относиться в 60-е гг. прошлого века, когда от кислотных осадков пострадали районы Скандинавии, Западной Европы, США. В России наиболее ярко выраженная зона с кислотными осадками приурочена к территории Приморского края и южной части Восточной Сибири. Территориальная близость от Китая, где в последнее время сильно возросло количество предприятий и последующей перенос атмосферных осадков делает наблюдаемые регионы наиболее уязвимые к данной проблеме закисления.

Говорить о вреде кислотных осадков не приходится. Достаточно изучить труды ученых, а также фото и видеоматериалы в сети интернет, чтобы убедиться, насколько кислотные осадки влияют на все сферы. В частности, происходит процессы, закисление озер и почв, снижение биомассы растений, разрушение материалов и т.д.

Степень разработанности темы исследований: Наблюдения за химическим составом атмосферных осадков (ХСО) на значительной территории СССР впервые организованы в 1958 Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГТО, Санкт-Петербург). Первые результаты были обобщены за период

1958-1961 гг и опубликованы в монографии коллектива авторов (В.М. Дроздова, О.П. Петренчук, Е.С. Селезнева, П.Ф. Свистов «Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР». Гидрометиздат, Л., 1964»). Тогда же Е.С. Селезнева сформулировала два положения: о наличии глобального фона минерализации осадков и о преобладающей зависимости их химического состава на региональных станциях от природной зоны.

В регионе оз. Байкал химический состав атмосферных осадков впервые изучен К. К. Вотинцевым в начале 1950-х гг. Регулярное изучение химического состава атмосферных осадков началось с 1971 г. В 1970-1980 гг. значительный вклад в изучение химического состава осадков в регионе оз. Байкал внесли работы Б.Б. Чебаненко, А.А. Матвеева, В.И. Валиковой, Ю.А. Анохина, В.А. Ветрова, Е.И. Грошевой, А.О. Кокорина. Ими изучались изменения в химическом составе осадков в связи с промышленным освоением Прибайкалья, и в частности, с деятельностью Байкальского ЦБК. Проводилась оценка поступления с атмосферными осадками загрязняющих веществ на акваторию южной части озера и прилегающие к нему территории.

Исследования 1988-1997 гг. в Байкальском биосферном заповеднике (юго-восточное побережье оз. Байкал) показали, что количество осадков с величиной $pH < 5,2$ весьма значительно, от 33 до 90%. Автор отмечает очевидность существенной длительной протонной нагрузки, испытываемой природным комплексом заповедника (46). Годовые потоки сульфатов и нитратов в этом районе превышают потоки этих компонентов в фоновых районах Прибайкалья в 2-3 и 3-4 раза, соответственно.

Химический состав атмосферных осадков Приморья начал активно рассматриваться в работах ученых с начала 1970-х гг.

Так в работах «Исследования химического состава атмосферных осадков на Дальнем Востоке» (Андреев Б.Г., Рожков Н.Г.) и «Роль атмосферных осадков в формировании химического состава грунтовых и речных вод южной части Дальнего Востока» (Труфанов А.И., Кислицин Л.В.) рассмотрены характер минерализации атмосферных осадков. Авторы пришли к выводу, что атмосферные

осадки в основном выпадают летом, а значит осадки, которые выпадают зимой имеют большую концентрацию загрязняющих веществ. Также авторы рассмотрели пространственное распределение осадков. Атмосферные осадки северных районов более минерализованы, чем южных районов. Это обусловлено более редким выпадением и меньшим количеством осадков в северных районах.

Также Кислициным и Труфановым в 1973 году, а позже и другими учеными была рассмотрена сезонная циркуляция атмосферы в сочетании с орографии местности. На территории Приморского края находится Сихотэ – Алинский хребет, которые делит территории на 2 части (западную и восточную). В зависимости от склона химический состав осадков будет отличаться. В зимний и весенний период преобладают континентальные массы, а летом под воздействием муссонного типа климата, в регион поступают морские воздушные массы. Поскольку Сихотэ – Алинъ является барьером для воздушных масс, то основная масса атмосферных осадков континентального происхождения выпадает на западном склоне, а океанического - на восточном склоне.

В работе «Роль орографических и климатических факторов формировании химического состава снежного покрова Сихот-Алинского биосферного региона» (Кондратьев И.И., Качур А.П.) было определено, что осадки, поступающие с континента обогащены соединениями сульфатов, кальция, алюминия, кремния. При этом кислотность осадков в этой части региона будет выше чем на востоке от горного хребта – 5,0 – 6,5 и минерализацией в интервале от 7 до 40 мг/л

Также авторы рассмотрели наличие загрязняющих веществ в осадках восточного склона и пришли к выводу, что в осадках морского происхождения на первом месте располагаются натрий и хлориды, что в 3 выше чем в осадках континентального происхождения. Максимальные концентрации прослеживаются на береговой линии и на станции Терней, далее в зависимости от удаления от побережья концентрация хлоридов и нитратов снижается.

Химический состав осадков не только отличается в связи с орографией, но также отличается по наличию промышленных предприятий. Так в работе «Тенденции в динамике pH осадков в Дальневосточном регионе Российской

Федерации» (Кондратьев И.И., Мезенцева Л.И., Семькина Г.И.) отмечено, что в больших населенных пунктах с крупными предприятиями за счет антропогенных выбросов химический состав осадков будет характеризоваться повышенным значением водородного показателя, и будут преобладать сульфаты и кальций.

Кроме локального загрязнения учеными установлен факт трансграничного переноса загрязняющих веществ.

Шестеркин В.П. в работе «Особенности формирования химического состава снежного покрова южных районах Приамурья» рассматривал поступление загрязняющих веществ из Китая в Приамурье. В исследовании было зафиксировано, что во время пожаров на территории Китая в ноябре 2003 года снежный покров в Приамурье имел низкие значениями рН (4,27-4,60), а также преобладание калия над натрием.

Таким образом химический состав осадков будет определяться как трансграничным выпадением так локальным. Кондратьев И. И. отмечает, что формирование типа химического состава снежного покрова зависит от частоты западных и южных циклонов и количества осадков. На Дальнем Востоке наблюдается тенденция увеличения минерализации атмосферных осадков, рост концентрации анионов (особенно сульфатного) происходит быстрее, чем катионов

Цель исследования: – определить пространственно – временное изменение концентраций сульфатов и нитратов, а также определить общее выпадение этих веществ с атмосферными осадками на территории Приморья и южной части Восточной Сибири (Иркутская область и Забайкальский край).

Основные задачи исследования:

1. Собрать и систематизировать информацию о концентрациях сульфатов и нитратов на станциях сети наблюдений ХСО.
2. Оценить возможность использования информации ХСО для экстраполяции концентраций сульфатов и нитратов на метеостанции по распределению среднегодовых сумм осадков 2 сетей.

3. Средствами геоинформационной системы Quantum GIS (QGIS) провести экстраполяцию концентраций сульфатов и нитратов на метеостанции регионов и рассчитать выпадение сульфатов и нитратов на метеостанциях.

4. На основе информации о выпадении сульфатов и нитратов на метеостанциях и станциях ХСО провести экстраполяцию данных на всю территорию исследуемых регионов и рассчитать общее выпадение сульфатов и нитратов с атмосферными осадками.

Научная новизна исследования:

- При анализе концентраций веществ в атмосферных осадках впервые использованы две сети наблюдений вместе: сеть наблюдений за химическим составом осадков и сеть Росгидромета. Это позволило увеличить количество станций для моделирования.

- Выявлено пространственное различие сульфатов и нитратов в атмосферных осадках в соответствие с атмосферной циркуляцией Приморья и Восточной Сибири.

- Впервые в геоинформационной системе на основе модели тонких сплайнов была создана интерполяционная поверхность, разбитая на сектора с размерностью 100 на 100 км. На основе этой поверхности, были рассчитаны суммарные выпадения кислотообразующих веществ как по секторам, так и по всей территории региона.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Данные о суммарном влажном выпадении, полученные в ходе экспериментальной части диссертации позволяют оценить степень загрязнения территорий сульфатами и нитратами и использовать результаты исследования:

- при разработке руководящих документов в области экологии и природопользования

- для совершенствования существующих станций и открытие новых в рамках системы мониторинга наблюдений за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков

- данное исследование рассматривает вопросы временной и пространственной динамики концентраций и выпадений кислотообразующих

веществ с атмосферными осадками, что позволяет, в будущем применять результаты, полученные в ходе этого исследования при уточнения критических нагрузок.

Методология и методы научного исследования: Диссертационная работа выполнена с использованием ряда классических и современных методов: анализ теории и практики мониторинга, картографирование, моделирование статистическая обработка эмпирических данных. Статистические данные были рассчитаны с применением электронных таблиц Microsoft Excel, для визуализации результатов использовалась геоинформационная система Quantum GIS 2.8.9

Положения, выносимые на защиту:

1. Химический состав осадков на территории Приморья и юга Восточной Сибири в целом однороден. Основными ионами в атмосферных осадках являются сульфаты и нитраты, которые в зависимости от условий могут значительно варьироваться в мг/л. Эти различия в концентрациях обусловлены локальными и региональными источниками загрязнения атмосферы, как природного, так и антропогенного происхождения.

2. На основании объединение информации от 2 типов станций (ХСО и метеорологических) с использованием моделирование методом сплайнов определены величины общего выпадения сульфатов и нитратов на регион, позволяющие оценить состояние окружающей среды в Приморье и на территории юга Восточной Сибири (Иркутская область и Забайкальский край).

3. Предлагаемая методика использования совместной информации от станций по наблюдению за химическим составом осадков и от метеорологических станций позволяет регулярно оценивать общий уровень влажных выпадений сульфатов и нитратов, а также других загрязняющих веществ на всю территорию региона для отслеживания загрязнений территорий в динамике.

Степень достоверности и апробация результатов работы: подтверждена большим объемом исходной метеорологической информации (данные за каждый год с 2003 по 2020 гг. по 24 станциям химического содержания осадков и 38 станциям метеорологической сети), применением современных методов

статистической обработки данных, а также соответствием сделанных выводов данным.

Основные положения диссертации докладывались на следующих российских конференциях: Конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 155-летию РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева, (Москва, 2020), Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (Москва, 2021,2022), Всероссийская с международным участием научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 155 – летию со дня рождения Н.Н. Худякова (Москва, 2021), Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова (Москва, 2022 года), Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире (Казань, 2021), Аграрная Наука – 2022, (Москва, 2022), Всероссийская научная конференция с международным участием, посвященная 110-летию кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, 2022).

Глава 1 Атмосферные выпадения и состояние их изученности на территории Приморья и юга Восточной Сибири

1.1 О кислотных выпадениях и атмосферных аэрозолях

Под кислотным выпадением понимается процесс осаждения загрязняющих веществ из атмосферы на земную поверхность [1, 2].

Первым ученым, который ввел термин «кислотный дождь» и описал это явление был Р.Смит в 1872 г. В России одним из первых ученых в области исследования кислотных выпадений был П. Кассович. Он проанализировал содержание химического состава осадков и установил влияние антропогенных выбросов серы на окружающую среду.

Помимо загрязняющих веществ оценкой кислотности осадков служит водородный показатель – рН. Исследования, которые проводились в различных уголках планеты определили, что антропогенное поступление серы и азота с атмосферными осадками превысили поступление от естественных источников уже к середине 1950 – х гг. И если в этот период основной территорией, где наблюдались кислотные осадки была Северная Америка [1, 3, 4], то в 1960-х гг. кислотные выпадения наблюдались также в странах Скандинавии. В основном это произошло из –за развития промышленного сектора. Так в Нидерландах и Германии уровень кислотности осадков варьировался от 4,4 до 4,9 рН, а в Норвегии он был еще ниже – 4,0 – 4,1. Поскольку кислотные выпадения способны распространяться на сотни километров от источника загрязнения, то этот эффект стал наблюдаться также на северо – западе СССР [1, 2, 5, 4, 6].

Эффект на окружающую среду от кислотных выпадений достаточно большой. Это проявляется в закисление почвенного покрова, водных объектов (моря, озера, реки), а также на растительный покров (некроз и хлороз растений, преждевременное полегание, уменьшение прироста древесины).

Исследования, проведенные на территории России, Скандинавии и Канаде доказали, что деградация деревьев наблюдается на больших территориях. [9].

Негативные последствия для почвенного покрова заключается в вымывании полезных элементов из почвы, что меняет соотношение этих элементов и влияет на рост и развитие растений. В основном из почвы вымываются такие элементы как калий и натрий, а также кальций. Это наносит серьёзный ущерб лесному и сельскому хозяйству [1, 10, 11].

Влияние кислотных выпадений на гидросферы заключается в негативном влиянии на водных обитателей за счет как снижения водородного показателя, так и действием загрязняющих веществ (в основном сульфатов и нитратов) [1, 12, 13].

Как правило уменьшения pH наблюдается в весенний период, а также в момент сильных дождей. [14,15].

Эффект от закисления водных объектов виден при $pH < 6,0$. Это проявляется в снижении видового состава. При снижении водородного показателя до 4,5 происходит процесс сокращения устойчивых к закислению видов биоты и наблюдается падение и остановка репродуктивности большинства видов рыб [16,17,18,19,20,21].

Негативные влияния, которые наблюдаются от кислотных выпадений побудили научное сообщество к анализу и решению проблемы касательно мониторинга за химическим составом осадков. Первая сеть мониторинга за химии осадков была организована на территории Советского Союза в 1958 г. из состояла из 6 станций. Наиболее широкое развитие сети станций в развитых странах было реализовано в конце 1970 – х гг.

Именно в 1979 гг. была организована сеть международной совместной программы мониторинга и оценки дальних переносов атмосферных загрязняющих веществ в Европе (ЕМЕП) основной целью которого является обеспечение научной информацией об оценке трансграничного переноса для потребителей.

В настоящее время в европейских странах функционируют свыше 200 станций по наблюдению за химическим составом осадков [7].

Однако кислотные выпадения характерные не только для территории Европы, но и для Азиатской части Евразии. Впервые об этом заговорили в конце 60-х гг., а в 80-90 х гг. 20 века проблема выпадение кислотных выпадений становится очень актуальным. Так в этот период водородный показатель для Японии составлял на уровне 4,5 – 4,9[22, 23, 24], а площадь территории подверженному закислению увеличилось с 1988 по 2000 гг. в 3,5 раза. Использование метеорологической информации в совокупности с данными о химическом составе осадков позволило установить, что часть сульфатов и нитратов антропогенного характера приходится на континентальную часть [25, 7, 26, 27].

Резкий рост загрязнений от промышленных предприятий обусловили создания сети мониторинга в Восточной Азии в 1998 г. [7, 8].

По состоянию на 2020 год общая сеть наблюдений за химическим составом осадков состоит из сети комплексного фонового мониторинга (станции, располагаются в биосферных заповедниках), системы контроля загрязнения снежного покрова. Также Россия входит в число участников ЕМЕП и ЕАНЕТ, поэтому 4 станции по программе ЕМЕП располагаются на Европейской части России, вблизи западных границ, а по программе ЕАНЕТ – 1 станция в Приморском крае, 3 – в Иркутской области [27].

1.2 Исследования атмосферных примесей в Приморье и юга Восточной Сибири

Южная часть Восточной Сибири: Первые наблюдения за химическим составом атмосферных осадков в Иркутской области относятся к началу 1950 –х гг. К. К. Вотинцев был одним из немногих, кто рассматривал вопрос выпадения кислотных выпадений в регионе [28].

Начиная с 1962 г. в рамках создания сети наблюдений за химическим составом осадков, в регионе была создана сеть из 5 станций. Наблюдения носили

статус периодических и не имели регулярности. Однако в 1971 году наблюдения стали проводится на регулярной основе.

Также в 1970-х гг. таким исследователями как В.И. Валикова, Ю.А. Анохина, Б.Б. Чебаненко и др. были внесены значительные вклады в изучение особенностей химического состава осадков. В частности, они связывали изменение в химических компонентах с влиянием промышленных предприятий региона. Помимо этого, исследователи изучали поступления загрязняющих веществ с атмосферными осадками на водную акваторию Байкала, особенно на южной части озера

С появления первых научных результатов стало очевидным то, что количество станций необходимо увеличивать для более точных результатов исследований. Так в 1976, число станций выросло до 10 (из них 1 станция являлась островной – ст. Хужир). В это же время Т. В. Ходжер, дала количественную оценку поступления веществ из атмосферы с осадками (влажное осаждение) и сухого осаждения. На основе ее результатов была проведена корреляция между влиянием атмосферы и химическим составом озера [29].

В начале 1990-х гг., один из главных направлений в изучении загрязнения с атмосферными осадками, стали количественные оценки общего выпадения сульфатов и нитратов. Эта тема стало актуальным ввиду не только локального загрязнения от промышленных центров, но также по причине трансграничного переноса на дальние расстояния от других стран [30].

В.А. Оболкиным и Т.В. Ходжер были предприняты попытки рассчитать влажные выпадения серы и азота из атмосферы на территории Байкальского региона. Свои результаты они представили в работе «Годовое поступление из атмосферы сульфатов и минерального азота в регионе оз. Байкал». Авторы приходят к выводу, что для большей части Байкальского региона выпадения сульфатов и нитратов не превышают фоновых значений. Между тем, в промышленных центрах региона наблюдается повышенное содержание загрязняющих веществ. Для района Хамар – Дабана выпадение сульфатов в 2 раза выше, чем на фоновых станциях, что вероятно связано с большим количеством осадков [30].

Помимо наблюдения в зоне промышленных предприятий наблюдения также проводились и продолжают проводиться на фоновых станциях. Одна из них находится на территории Баргузинского заповедника. Анализ материалов наблюдений за период с 1984 по 1998 год говорит о том, что содержание сульфатов на фоновых станциях ниже, чем в городах с большой антропогенной нагрузкой. Также низкие значения обусловлены дальним переносом загрязняющих веществ. Для сравнения результаты были сопоставлены с другой фоновой станцией – Боровая (Березинский заповедник). Оказалось, что и на ст. Боровая выпадения больше, чем в Баргузинском заповеднике [30].

Научные исследования, которые проводились в Байкальском биосферном заповеднике в 90-е гг. 20-го века, показали, что доля подкисленных осадков с водородным показателем ниже 5,4 составляет в диапазоне от 35 до 80%, при превышении годовых потоков сульфатов в 2 раза по сравнению с районами Прибайкалья [30].

Данные исследования показывают, что для большей части Байкала содержание вредных веществ в атмосферных осадках, находятся на низком уровне, а определенные экстремумы в концентрациях и выпадениях приурочены к району с большим количеством промышленных предприятий.

Безусловно, что работы ученых, которые были посвящены не только влажным выпадениям, но и содержанию загрязняющих веществ в снежном покрове, позволили получить большой массив данных для совершенствования методики исследований и дать объективную оценку положению дел с кислотными выпадениями. Помимо прочего, с развитием компьютерных технологий удалось создать моделирование процессов с учетом особенностей климата и орографии местности, для оценки загрязнения не только на всей территории, но и также в пределах отдельных пунктов. Результаты моделирования валидируются с исходными данными для более точной оценки.

Приморский край: Химический состав атмосферных осадков Приморья начал активно рассматриваться в работах ученых с начала 1970-х гг. Так в исследованиях Андреева Б.Г., Рожкова Н.Г., Труфанова А.И., [31,34] рассмотрены

характер минерализации атмосферных осадков. Авторы пришли к выводу, что атмосферные осадки в основном выпадают летом, а значит осадки, которые выпадают зимой имеют большую концентрацию загрязняющих веществ. Также авторы рассмотрели пространственное распределение осадков и определили, что для северных районов осадки будут носить более минеральный характер, чем осадки южной части региона. Это будет зависеть от того, как много осадков выпадает. Для северной части Приморского края осадков будет меньше, чем для юга.

Атмосферные осадки северных районов более минерализованы, чем южных районов. Это обусловлено более редким выпадением и меньшим количеством осадков в северных районах.

Также Кислициным и Труфановым в 1973 году, а позже и другими учеными была рассмотрена сезонная циркуляция атмосферы в сочетании с орографии местности. На территории Приморского края находится Сихотэ – Алинский хребет, которые делит территории на 2 части (западную и восточную). В зависимости от склона химический состав осадков будет отличаться. В зимний и весенний период преобладают континентальные массы, а летом под воздействием муссонного типа климата, в регион поступают насыщенный влагой воздух со стороны моря. Как известно, Сихотэ – Алинская горная система является преградой на пути морского воздуха в глубь района, поэтому осадки, которые имеют морскую составляющую выпадают в восточном регионе края (Терней, Рудная Пристань и т.д.). Осадки, сформированные над континентом, выпадают на западе региона (Посьет, Владивостоки и т.д.).

В работе «Роль орографических и климатических факторов формирования химического состава снежного покрова Сихотэ – Алинского биосферного региона» И.И. Кондратьевым и А.Н. Качуром было определено, что осадки, поступающие с континента обогащены соединениями сульфатов, кальция, алюминия, кремния. [32] При этом кислотность осадков в этой части региона будет выше, чем на востоке от горного хребта – 5,0 – 6,5 [34].

И.И. Кондратьев и А.Н. Качур также проанализировали химический состав атмосферных осадков на восточной части Приморского края и сделали вывод, что

в осадках этой части региона преобладают хлориды и нитраты, что в 3 выше, чем в осадках континентального происхождения. Максимальные концентрации прослеживаются на береговой линии и на станции Терней, далее в зависимости от удаления от побережья концентрация хлоридов и нитратов снижается.

Химический состав осадков не только отличается в связи с орографией, но также отличается по наличию промышленных предприятий. Так в научных работах исследователей отмечено, что в больших населенных пунктах с крупными предприятиями за счет антропогенных выбросов химический состав осадков будет характеризоваться повышенным значением водородного показателя, и будут преобладать сульфаты и кальций. [33,34].

Помимо загрязнения также в регионе наблюдается естественное загрязнение связанная с участвовавшими лесными пожарами. При горении в атмосферу попадает значительное количество примесей (в основном твердые частицы, а также окислы углерода и азота). По данным Фурьева В.В. и Злобиной Л.П. во время горения лесов с 1 га поступает от 24 до 64% азота.

Исследования Иванова А.В., Кашина Н.П. показали, что, состав соединений в осадках будет зависеть от метеорологических условий: при ветреной погоде в атмосферу попадает больше пыли и золы, что характеризуется увеличением соединений серы и кальция. В штиль повышается соединения азота.

Кроме локального загрязнения учеными установлен факт трансграничного переноса загрязняющих веществ. Так в работе «Особенности формирования химического состава снежного покрова южных районах Приамурья» В.П. Шестеркин рассматривал поступление загрязняющих веществ из Китая в Приамурье [35]. В исследовании было зафиксировано, что во время пожаров на территории Китая в ноябре 2003 года снежный покров в Приамурье имел низкие значениями pH (4,27-4,60), а также преобладание калия над натрием.

В работе «Роль атмосферных осадков в формировании химического состава грунтовых и речных вод южной части Дальнего Востока» рассматривалось также перенос механических примесей юго – западными ветрами от территорий подверженные пыльным бурям на территорию Приморья и обнаружили, что в

атмосферных осадках за счет примесей преобладают соединения натрия и кальция [34].

Циклоны, которые приходят с южной стороны (из Китая и Корейского полуострова) приводят к закислению осадков [33]. Так в фоновых районах Приморья кислотность осадков в 1982 году составила 4,2, а в зимнем сезоне 2004 – 2005 гг. рН был меньше 4, из – за увеличенного выброса окисла азота и серы на территории Китая в этот период.

За счет нарастания темпов промышленности в последнее время трансграничное загрязнение превосходит локальное за счет дальности переноса. В среднем окислы азота и серы могут переноситься на 300 – 1500 км от места источника загрязнения и проявляться в фоновых районах, где нет промышленности [35].

Таким образом химический состав осадков будет определяться как трансграничным выпадением так локальным. Кондратьев отмечает, что формирование типа химического состава снежного покрова зависит от частоты западных и южных циклонов и количества осадков. На Дальнем Востоке наблюдается тенденция увеличения минерализации атмосферных осадков, рост концентрации анионов (особенно сульфатного) происходит быстрее, чем катионов [33,35].

1.3 Источники загрязнения атмосферы исследуемой территории и воздействие на окружающую среду

По происхождению аэрозоля в атмосфере выделяют 2 основных источника.

1) Выбросы в атмосферу непосредственно от источника загрязнения (естественного или антропогенного)

2) Преобразование газовых смесей природного или техногенного характера в воздухе.

Химический состав осадков будет определяться источником загрязнения и процессами химических изменений в атмосфере аэрозоля. [36].

Иркутская область: Главным источником загрязнения атмосферных осадков Иркутской области является предприятия региона, в частности основной вклад вносят угольная промышленность (Черемхово), топливно – энергетический сектор. Большинство ТЭЦ области используют уголь для выработки электроэнергии. За счет сжигания каменного угля в атмосферу попадают диоксид серы и оксиды азота.

Территория Иркутской области, в частности Черемхово называют угольным центром Сибири. Здесь расположены крупные угольные разрезы. На этих предприятиях добыча угля производится открытым способом, из-за чего нарушается ландшафт местности [37].

Помимо угольной промышленности в регионе также активно разрабатывается нефтеперерабатывающая промышленность. Основными источниками загрязнения от такого сектора промышленности являются токсичные вещества как бензол, фенол, ацетон, аммиак и др.

Химическая отрасль также вносит свой вклад в загрязнение атмосферных осадков территории. Среди предприятий области выделяют: Ангарский завод химреактивов и Усольехимпром. Также выпуск хлора и водорода не проходит бесследно для экологии.

Опасность металлургического сектора для окружающей среды заключается в том, что при выплавке металла в воздух попадает бенз(а)пирен, фтористые соединения, что тоже неблагоприятно влияет на состав атмосферных осадков. Крупным предприятием является «Братский алюминиевый завод» («БрАЗ»).

Более 6% всех выбросов вредных веществ в атмосферу приходится на лесоперерабатывающие предприятия, однако до 70% выбросов в Иркутской области относится к трем крупным предприятиям: Усть-Илимский лесопромышленный концерн», «Братсккомплексхолдинг», «Байкальский ЦБК». Среди основных загрязнителей присутствуют хлор, толуол, сероводород.

Горнодобывающая промышленность, также, как и угольная ведется открытым способом, что вызывает большие площади оврагов и деградацию ландшафта. Основными предприятиями области в рамках добычи золота, вольфрама и молибдена является Джидинский комбинат. В зависимости от источника загрязнения и добычи полезного ископаемого состав загрязнителей может меняться [37].

Кроме промышленности за последнее время растет доля автотранспорта в загрязнение окружающей среды. По некоторым подсчетам до 50 % всех выбросов в регионе сосредоточено от передвижных источников какими и являются автомобили. Из этих 50% на долю оксида углерода приходится 14%, а на долю оксида азота меньше 2% [37].

Приморский край: Приморский край по экологической обстановке характеризуется как территория с высоким риском загрязнения. В основном это происходит за счет предприятий энергетики, металлургии и горной добычи, но также значительный вклад исходит от трансграничного загрязнения от предприятий Китая [43].

Н.К. Христофорова [47] в своих научных исследованиях выяснила, что в основном на сжигание угля и применения его в энергетике региона приходится большая часть всех выбросов в атмосферу. Так по ее данным в регионе отопительных предприятий составляет около 500, а количество небольших котельных находится на отметке в 1300 шт. При общем подсчете было определено, что в них сжигают около 2 млн т. мазута и угля.

Способность атмосферы Приморского края к самоочищению на западных территориях региона оценивается на низком уровне. Поэтому даже при незначительных количествах осадков концентрация может быть большой, что в свою очередь сказывается на общих влажных выпадениях сульфата и нитрата. [47].

Приморский край богат цинком, бурым углем, свинцом и другими ископаемыми. В основном горнодобывающая промышленность сосредоточена в Дальнереченске.

Химическая отрасль региона представлена в г. Партизанск и Дальнегорск. От предприятий в атмосферу поступают серная кислота, цинк, свинец [43].

Предприятия строительной отрасли располагаются в г. Спасск – Дальний, Артем и Владивосток [43]. Спасск – Дальний является крупным центром по производству цемента. Многие ученые высказывались, что именно производство цемента на заводах региона является крупным загрязняющим источником для экологии Приморского края [53, 54, 49].

Угольная промышленность наиболее сильно влияет на экологическую обстановку городов Партизанск и Артем [43]. Помимо использования угля в интересах региона, его также экспортируют открытым способом (через перевалочные пункты методом перегрузки) в Китай, что вызывает значительный ущерб как природной среде, так и сказывается на здоровье населения [40, 46, 51].

Также, как и для Иркутской области, в Приморском крае от года к году растет количество автотранспорта, который вносит свой определенный процент нагрузки загрязняющими веществами. По 35-40% от общего загрязнения автотранспорта приходится на долю окисла азота и оксида углерода [55, 43, 50].

П.Ф. Кику в 2017 году определил уровень загрязнения от автотранспорта для всего региона по усредненным данным в 38 %, а для крупных городов таких как Владивосток, этот уровень достигает до 45%.

Ранее в разделе 1.2 мы рассмотрели научные исследования прошлых лет. В них говорилось о том, что для крупных городов загрязнение выше чем для районов, которые находятся на достаточном удалении (т.н. «фоновые районы»). Действительно, Спасск – Дальний и Владивосток являются городами по темпам роста содержания взвешенных частиц, бенз(а)пирена и диоксида азота [45, 39, 41, 42, 44]. Очевидно, что увеличение выработки электроэнергии и использовании в них высокосернистого топлива и малых котельных, а также постепенный и уверенный рост числа автотранспорта приводит к росту вредных веществ не только в атмосфере, но и осадках [92].

В связи с трансграничным поступлением загрязняющих веществ из Китая важно не только наблюдать за химическим составом осадков в крупных городах,

но также в населенных пунктах, которые считаются малыми по численности населения в них.

Между тем в некоторых научных трудах рассмотрено влияние атмосферного воздуха на забалеваемость населения и даже установлена корреляционная связь. Согласно таким исследованиям до 27% от всей суммы причин прямо или косвенно влияющих на здоровье населения приходится на заболевание органов дыхания и аллергические реакции.

В частности, при вдыхании угольной пыли образующаяся при добыче, и переработке угольного сырья вызывает целый ряд респираторных заболеваний [56, 52, 46, 48].

При этом до 20% смертности населения связано с загрязнением атмосферного воздуха, из-за выбросов предприятий топливно-энергетического комплекса.

Забайкальский край: В Забайкальском крае около половины промышленного потенциала области сосредоточено в краевом центре - г. Чита. Вследствие этого на территории города производится более 60 % от общего объема отходов производства, выбросов в атмосферу и сбросов в водный бассейн. Воздушными переносами и через систему рек загрязняющие вещества из города переносятся на значительную часть Забайкальского края.

До 50% всей промышленности в Забайкальском крае относится к его центру – г. Чита. Здесь в атмосферу выбрасывается порядка 55-65% от общего объема выбросов в атмосферу и отходов производства. За счет переноса загрязняющих веществ в пределах территории и за счет загрязнения водных объектов, загрязнения сульфатами и нитратами характерно для большей части Забайкальского края.

Поскольку по климатическим особенностям региона (длительная и холодная зима), процесс отопления жилого фонда других объектов происходит достаточно долго (8 месяцев), то основным источником загрязнения является теплоэлектростанции и котельные, а также автомобильный транспорт.

Стоит сказать, что использование угля в энергетике и применение низкокачественного топлива будет играть роль в загрязнении региона, однако в

большой степени на уровень загрязнения территории будет оказывать орография местности (горно-котловинный рельеф) и климатические условия (действие Сибирского антициклона в зимний период), от которых зависит перенос выбросов и их рассеивающие способности [57].

Рассматривая долю каждого сектора предприятия от общего числа выбросов в атмосферу можно сказать, что металлургия занимает 35%, теплоэнергетика находится на втором месте с долей в 22%, на остальные отрасли приходится в совокупности 43% выбросов загрязняющих веществ [57].

Таким образом рассеивающая способность выбросов от предприятий и ЖКХ на территории края находится на низком уровне. Рассматривая другие регионы и сопоставив результаты можно сказать, что это будет в среднем на 40% ниже для Забайкальского края. При этом за счет орографии и климатических особенностей региона в зимние месяцы рассеивающая способность будет еще ниже по причине застоя воздуха в г. Чита.

Основные выводы по 1 главе

- Первым кто ввел термин кислотные осадки был Роберт Смит в 1872 году, где в своем научном труде: «Воздух и дождь: начало химической климатологии» описывал смог над промышленным центром Манчестера.

- Начиная с 1960 -х гг. кислотные осадки наиболее остро стали проявляться в странах с промышленными кластерами (страны Скандинавии). Именно в это время в СССР создается первая сеть наблюдений за химическим составом атмосферных осадков.

- По мере роста количества промышленных предприятий проблема кислотных осадков стала наблюдаться не только в Европе, но и в Азии (Китай, Япония). Увеличение количество загрязняющих веществ привело к тому, что в 1990-х была организована сеть мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ) и Международная совместная программа мониторинга и оценки дальних переносов атмосферных загрязняющих веществ в Европе (ЕМЕП).

- Кислотные осадки являются неблагоприятным явлением, которые вымывают тяжелые металлы из почв, меняя при этом существенно содержание в почве кальция и задерживая рост растений. Также загрязнённые осадки способны вызвать закисление водоемов и оказывать влияние на живые организмы.

- В одном из районов исследования (южная часть Восточной Сибири), первые наблюдения за химическим составом осадков относятся к началу 1960-х. И если в это время фиксировалось содержания концентраций вредных веществ в атмосферных осадках, то к началу 1990-х исследования были сконцентрированы на проблеме кислотности атмосферных осадков и поступления из атмосферы серы и азота.

- По результатам исследований которые проводились в различных условиях (в условиях «города и заповедника») ученые пришли к выводу, что наибольшее количество выпадений сульфатов и нитратов приурочены к промышленным районам области, в частности г. Иркутск и г. Черемхово. Меньшее количество относится к

территориям Баргузинского заповедника, однако и там могут наблюдаться кислотные дожди ввиду трансграничного переноса.

- В районе Приморского края исследования кислотности осадков стали проводиться в 1970 – х гг. Исследователи пришли к выводу что, осадки, которые выпадают зимой имеют большую концентрацию по сравнению с летними. Также была рассмотрена циркуляционный режим атмосферы. Авторы пришли к тому, что территория Приморья по циркуляции атмосферы, а также из-за влияния горной системы Сихотэ – Алиня можно разделить на 2 части: на востоке региона за счет поступления осадков из моря кислотность осадков будет меньше, чем на западе, где сосредоточены промышленные предприятия региона. Также на западе Приморского края кислотность осадков будет обусловлена трансграничным поступлением загрязняющих веществ из Китая.

- В рамках источника поступления сульфатов и нитратов рассматривается два вида аэрозоля (первичный – выбросы антропогенного или природного характера и вторичный – трансформация газов в атмосфере).

- В Иркутской области источниками выбросов серы и азота являются выбросы от стационарных предприятий. На первой месте находится угольная промышленность (г.Черемхово). Не менее опасным источником является цветная металлургия (г.Братск). Для Забайкалья основным источником загрязнения служит использования угля в энергетике, а также повсеместно его использовании в жилом секторе в зимний период. Наиболее неблагоприятная обстановка в Чите – за счет орографических и климатических особенностей.

- В Приморье причинами загрязнения является несоответствие размещения производственных объектов и экологической емкости территории. В основном загрязнение происходит от предприятий энергетики, строительства, транспорта.

Глава 2 Особенности климатических условий регионов исследования

2.1 Физико-географическая характеристика территорий

Приморский край: Приморский край расположен на крайнем юго-востоке азиатской части России и занимает площадь 165,9 тыс. км². Его территория, ограниченная на юге и юго-востоке Японским морем и Татарским проливом, на западе горами и равнинами Кореи и Северо-Восточного Китая, на севере - Хабаровским краем, представляет сложное сочетание гор, холмогорий и разновысотных равнин [58].

Территория расположена между 42° 18' - 43° 23' с. ш. и 130° 24' - 139° 2' в. д.

Если рассматривать расстояние от севера до юга региона, то это будет почти 900 км. От западной точки до мыса. Золотой расстояние составляет 430 км. Помимо материковой части в состав края входят острова, которые располагаются в заливе Петра Великого – Попова, Рикорда, Русский.

Приморский край считается наиболее густонаселенным субъектом на территории Дальневосточного Федерального округа. Численность населения составляет 1 млн 820 тыс. человек, при этом в городах живут около 80% всего населения края. Центром Приморского края является город Владивосток с общим населением в 603500 человек [59].

Если рассматривать орографию местности, можно здесь найти большую горную систему – Сихотэ – Алинь. Она представляет собой несколько горных хребтов относительно не высоких, которые вытянуты по направлению с юга – запада на северо – восток, от которых отходят горные отроги. Максимальная высота гор составляет 1854 метра над уровнем моря (г. Облачная).

Уссурийско – Ханкайская низменность по праву считается самой большой низменностью Приморская края.

Физико – географическое положение региона, который находится на стыке материка и океана также влияет и на климате края. Здесь можно наблюдать достаточно резкое, сезонное чередование циклонов и антициклонов благодаря которым в Приморском крае наблюдаются муссоны. Летом они приходят с моря на сушу, которые нередко сопровождаются тайфунами, а в зимний период атмосферная циркуляция ветров происходит с континента в сторону океана.

Б.П. Алисов считает, что самым главным фактором климатообразования в регионе является атмосферная циркуляция. По его классификации Приморский край считается муссонной областью умеренного пояса. Как было сказано ранее, для края характерно сезонное изменение направления ветра возникающих вследствие разницы температур между океаном и континентальной частью. Также среди причин Б.П. Алисов выделяет изменение в расположении местоположении сезонных центров действия атмосферы (ЦДА) и тропосферных фронтов [60].

Сухая и солнечная с низкими температурами погода наблюдается зимой при перемещении воздушных континентальных масс. При т.н. зимнем муссоне средняя месячная температура находится на уровне минус 13 – минус 18°C до минус 25°C на западе края.

В начале лета погода характеризуется как жаркая и сухая на западе и прохладная с частыми морозящими дождями на востоке региона.

Летний муссон достигает своего пика в июле (для западных территорий) и в августе (для восточного побережья). Температура воздуха в среднем для июля – августа составляет 16-21°C.

При этом максимум который наблюдается в Приморском крае для западной части достигает 35-40°C, а для восточного побережья 31-34°C.

При этом воздух прогревается от береговой линии вглубь края и средняя температура июля в 22°C относится к Приханкайской равнине. Из-за орографии местности температура летом на западе от Сихотэ - Алиня в среднем на 3-4°C выше, чем на востоке. По режиму осадков можно сказать, что основная их масса приходится на теплый период (июнь - сентябрь).

Проливные дожди характерны при прохождении южных циклонов и тайфунов над Приморским краем. Суточная величина осадков при тайфуне может достигать в межгорных долинах до 90 мм, а на юге края (Владивоток) – до 200 мм.

Приморский край очень богат на видовой состав растений. Здесь произрастает около 2000 растений, включая 200 видов различных деревьев, деревянистых лиан и кустарников.

До 80% всей площади края относится к лесам. В горах господствуют елово-пихтовые, и кедрово-широколиственные леса, переходящие на юго-западе Приморья в более богатые и теплолюбивые чернопихтово-широколиственные леса. В речных долинах растут увитые лианами широколиственные леса из ясеня, вяза и ореха маньчжурского.

В высокогорьях преобладают типы растительности, близкие к камчатским: каменноберёзовые леса, заросли кедрового стланика и горные тундры. Вдоль речных русел тянутся ивняки, ольшаники, леса из различных тополей и чозении.

Иркутская область: Иркутская область, площадь территории которой составляет 767 900 км² расположена на юге Восточной Сибири. Крайние точки области имеют координаты: южная – 51°18' с. ш., северная – 64°15' с. ш., западная – 95°38' в. д., восточная – 119° 10' в. д. [61].

С севера на юг протяженность области составляет 1300 км, а с востока на западе достигает 1600 км. По сравнению с Приморским краем климат Иркутской области будет крайне континентальным и достаточно суровым, а протяженность области предрасполагает наличие широтной зональности и разнообразием природных условий. [61].

Южная окраина Среднесибирское плоскогорье занимает значительную часть территории Иркутской области. Рельеф плоскогорья не везде одинаковый. Так могут встречаться как плоская аллювиальная равнина, так и крутые склоны речных долин. Порядка 30% области занято горами. На юге Иркутской области расположились горы Восточного Саяна и часть гор Хамар – Дабана [61].

На западном побережье Байкала можно увидеть Байкальский хребет и Приморский. Восточная часть области представлена горными хребтами Прибайкалья.

Самым глубоким озером не только в России, но и в мире располагается в Иркутской области – оз. Байкал, который окружен горными массивами. Это в свою очередь влияет на климатические особенности этой части Иркутской области.

Многообразие почвенно – растительного покрова достигается за счет сложной орографии. Горно-таежные бурые почвы характерны для лесного пояса области, а в светлохвойных лесах - дерново-лесные оподзоленные почвы, а также и неоподзоленные[62].

Климат региона можно описать как резко-континентальный с длительной и малоснежной зимой, и влажным, но коротким летним периодом. При общей схожести климата региона, существуют т.н. мезоклиматические различия.

Годовая сумма солнечной радиации в регионе варьируется от 3000 МДж/м²/год на севере до 4500 МДж/м²/год. Максимальные значения характерны для озера Байкала - 5000 МДж/м²/год [13]. Наибольший вклад солнечной радиации будет приходиться на летний и осенний периоды (до 55%). Зимой этот показатель снижается до 20%.

Климат региона, как было сказано ранее, является резко – континентальным. Это находит отражение в общей циркуляции атмосферы.

В зимний период благодаря влиянию Азиатского антициклона преобладает сухая и малооблачная погода, в результате которого часто можно наблюдать процессы радиационного выхолаживания. Это в сочетании с орографией территории влияет на температуру воздуха [64].

Традиционно самым холодным месяцем признан январь, температура которого по осредненным данным меняется от -20 до -25°C.

Рельеф будет также играть важную роль в температуре местности. Так оз. Байкал оказывает «тепловой эффект» на климатические характеристики прибрежной области. Зачастую в январе на ст. Исток Ангары и Листвянка средняя температура воздуха не опускается ниже 18°C мороза, что теплее чем на

континентальной части региона, где температура может достигать 30°C ниже 0 (ст. Иркутск) [13].

Самым теплым месяцем в году является июль, за исключением прибрежных районов Байкала, где максимум температур достигает в августе. Средняя температура в Иркутской области варьируется от 18,7 на юге до 12,8 °C на севере региона.

В зависимости от прихода циклонов будет зависеть выпадение осадков. В целом большинство осадков приходится на теплый период с апреля по сентябрь, когда циклоны наиболее часто выходят на территорию области. Меньше всего осадков приходится на зимний период, когда в регионе оказывает свое влияние зимний антициклон.

В среднем за теплый период выпадает 350 мм осадков. Для горной местности (Хамар - Дабан) это значение будет выше 600 мм. Минимум осадков приходится на территорию Байкала, а именно – остров Ольхон (200 мм).

Метеорологические данные со станцией говорят нам об увеличении годовых сумм осадков с севера на юг. Кроме общей циркуляции атмосферы и радиационного режима, климат региона влияют оз. Байкал и орография.

Климат внутренней части области можно охарактеризовать как резко – континентальный. А для оз. Байкал он приобретает черты морского климата. Температура на 2-3 °C ниже, чем в центральных районах области, а количество осадков если не рассматривать горные районы Байкала ниже на 150 – 200 мм.

Такой характер выпадения осадков в Байкале возможен за счет температурной инверсии, затрудняющие восходящие движения воздушных масс [63].

Забайкальский край: Еще одним субъектом Российской Федерации, который располагается на территории Восточной Сибири является Забайкальский край. По протяженности территории с севера на юг расстояние составляет около 1000 км (от хребта Кодар до Приононской равнины). С запада на востоке – чуть больше 850 км. При этом площадь региона - 431, 5 тыс. км².

Орография местности представлена разновысотными горными хребтами и межгорными впадинами [65]. Горные хребты как правило имеют направления с северо – востока на юго – запад. Среди горных хребтов выделяют Баргузинский который относят к востоку Прибайкалья, Хамар-Дабан, Улан-Бургасы.

Климат края по классификации Алисова характеризуется как резко – континентальный с малым количеством осадков.

Зимний период полностью повторяет климат Иркутской области. Осадки в основном выпадают редко и в небольших количествах. Средняя температура января варьируется от -23°C на юге края до -32°C в северной и северо-восточной области.

Весной атмосфера постепенно перестраивается в плане циркуляции и в это время характерно чередование длительных прохладных дней с небольшим периодом тепла. В весенний период может выпасть снег. Также нередки сильные ветра. В начале мая температура достигает $+7^{\circ}\text{C}$.

Лето наступает в Забайкалье с уходом последних заморозков. Максимум которые наблюдается в регионе достигает $+35...+40^{\circ}\text{C}$. Ночью температура остывает до $+8^{\circ}\text{C}$. В июне – июле погода характеризуется как сухая и жаркая, что обуславливает возникновение засух и суховеев. В это время влажность воздуха не поднимается выше 26-30%.

Несмотря на то, что первая половина осени (сентябрь и начало октября) является теплой и сухой, в ночные часы нередко первые заморозки, из-за прихода холодного арктического воздуха на территорию края в совокупности с радиационным выхолаживанием воздуха.

Среднегодовое количество осадков находится в широком диапазоне: от 250 до 350 мм на юге до 550 – 650 мм на севере Забайкалья. Основная часть, как и в Иркутской области выпадает в летний и осенний периоды.

Растительность в регионе достаточно пестрая и выделяют 3 зоны: степная, лесостепная и горно-таежная.

Для степей характерно нечеткие границы отдельных растительных видов и разнообразие. Лесостепи представлены лиственнично-березовыми и сосновыми

лесами, преобладает разнотравье. В горно – таежной зоне наблюдаются сосна, лиственница, пихта.

В плане почвенного покрова здесь представлены все виды почв за исключением видов характерных для субтропиков.

Почвы равнинного типа здесь, они встречаются только на плоских водоразделах.

2.2 Особенности атмосферной циркуляции Приморья и юга Восточной Сибири

Приморский край: Б.П. Алисов считает, что самым главным фактором климатообразования в регионе является атмосферная циркуляция. По его классификации Приморский край считается муссонной областью умеренного пояса. Как было сказано ранее, для края характерно сезонное изменение направления ветра возникающих вследствие разницы температур между океаном и континентальной частью. Также среди причин Б.П. Алисов выделяет изменение в расположении местоположении сезонных центров действия атмосферы (ЦДА) и тропосферных фронтов [60].

С начала ноября и до марта в атмосфере Приморского края протекают процессы свойственные для зимнего периода. Формирование обширной области высокого атмосферного давления который в научных трудах называется Азиатский антициклон или Сибирский антициклон начинается в сентябре. Это формирование не происходит без влияния циркуляционных и динамических факторов, а также условий орографии Приморского край и территорий Восточной Сибири [113].

К середине октября заканчивается формирования Азиатского антициклона, и он начинает действовать с центром над территорией Монголии и с отдельными отрогами, направленными на дальневосточные территории России и на юго – восточную часть Китая.

До формирования антициклона, в августе начинается зарождаться 2-ой центр

действия атмосферы – Алеутская депрессия. Этот ЦДА определяет погоду над восточными регионами Азии и над частью Тихого океана (север). Центр ЦДА находится между Алеутскими островами и юго-западной частью Берингова моря. Таким образом к сентябрю Алеутская депрессия заканчивает свое формирование и начинает действовать при атмосферном давлении в центре циклона около 1000 – 1010 гПа [66].

Январь является пиковым периодом в развитии зимних атмосферных процессов. Между Сибирским антициклоном и Алеутской депрессией возникает высотная фронтальная зона (ВФЗ) на стыке континентальной части и морской, которая влияет на атмосферные процессы, протекающие в районе Дальнего Востока России (в частности, на территории Приморского края). По результатам наблюдений за скоростью ветра и температурой воздуха ученые пришли к выводу, что ВФЗ является активной на северном полушарии Земли. Циклоны под воздействием ВФЗ смещаются в северо – восточном направлении, где происходит процесс формирования Алеутской депрессии.

Из – за расположения барических систем Приморский край находится под влиянием восточной окраины Сибирского антициклона. Поэтому в большинстве случаев (до 70%) погода в Приморском крае будет находится в антициклоническом поле и в результате будет характеризоваться холодными и сухим континентальным воздухом, при котором наблюдается ясная и достаточно морозная погода с ветрами северо – западных и северных румб, который можно назвать зимним муссоном.

При зимнем муссоне температура воздуха будет ниже, чем в городах Европейской части России на тех же широтах. Для сравнения: Сочи и Владивосток располагаются примерно на одной широте – 43 с. ш., однако зимой в Сочи средняя температура января составляет +4°C, а во Владивостоке составляет - 14°C.

В зимний период осадков выпадает всего 9 -15% от суммы осадков за год. Количество осадков меняется в зависимости от рельефа местности. Так в предгорьях Сихотэ – Алиня в холодное время фиксируется от 140 до 160 мм осадков, а на значительной части Приханкайской равнины сумма осадков за зиму не превышает 50 мм.

В апреле происходит ослабевание Азиатского антициклона и окончательно отрог, направленный на территорию Восточной Сибири, исчезает к маю. В связи с ослаблением циклонов на полярном фронте в районе Тихого океана, идет процесс наполнения Алеутской депрессии. Уже в апреле за счет антициклогенеза в районе Охотского моря, над нижним течением реки Амура происходит процесс формирования низкого атмосферного давления или как его еще называют летняя дальневосточная депрессия, которая диктует условия циркуляции атмосферы Дальнего Востока.

Вместе с тем из-за циркуляционных и термических влияний создаются условия для формирования над дальневосточными морями и океаном области высокого давления, поэтому с марта по июнь в Приморье погода определяется циклонической деятельностью. И если в марте еще остаются характерные для зимы синоптические процессы, то в апреле помимо частых северных ветров, в регион поступает ветра южных румб, которые несут влажные и пронизывающие воздушные массы. Это приводит к пасмурным и холодным дням с морозящими дождями во второй половине апреля и начале мая.

Летом для Дальнего Востока свойственно циклоническая активность над Азиатскими территориями – Дальневосточная депрессия с центром над Амурским бассейном и антициклоническая деятельность в районе Охотского моря и Тихого океана [66].

В большинстве случаев погода в Приморском крае будет определяться полем с пониженным атмосферным давлением. При сочетании антициклонов и циклонов будут создаваться условия для активного переноса в летний период влажных и теплых воздушных масс со стороны океана на континентальную часть региона, который называется летним муссоном.

Влияние летнего муссона на погоду Приморского края меньше, чем у зимнего муссона, из-за орографических условий местности, поэтому это воздействие ограничивается прибрежной зоной Приморского края.

В развитии летнего муссона определяющую роль играют термические условия на уровне мезо-масштаба (прибрежные моря – прибрежная зона) и макро

– масштаб (материк - океан), поэтому выделяют 2 стадии развития муссона.

Первая стадия протекает с мая по июль. В это время возможно приход холодных воздушных масс с Охотского моря на территорию Приморья. При этом повторяемость синоптических условий (дней) под влиянием охотского антициклогена будет находиться на уровне 15%.

При циклонических приходах со стороны Охотского моря наблюдается усиление северо – восточных ветров, кроме района залива Петра Великого – здесь будут преобладать юго – восточные румбы. Как было сказано ранее при таких условиях наблюдается пасмурная и прохладная погода побережье Приморского края, однако дожди будут выпадать если помимо влияния отрога охотского антициклона на север Японского моря, будет оказывать свое влияние и фронт окклюзии или теплый. Если же теплого фронта нет, то в таком случае будут наблюдаться туманы. Также погоду в регионе нередко формируется под воздействием циклонов, которые приходят со стороны запада или юго – запада.

Вторая стадия начинается в момент прогрева атмосферы Северного полушария (середина июля - сентябрь).

Алеутская депрессия ослабевает, что выражается в сглаживании термического контраста между прибрежными морями и океаническими водами. При этом над океаном усиливается влияние антициклонов, которая способна создать достаточно сильный вынос морских воздушных масс, в которых накопленная влага содержится больше, чем в муссоне на первом этапе развития в сторону континентальной части территории.

Циркуляционные особенности являются ключевыми в развитии муссона на второй стадии. Юго – восточное направление ветров при циклонической деятельности выносят на материк не только воздушные массы умеренного воздуха из океана, но также наблюдаются массы тропического морского воздуха. Это объясняет причину обильных дождей в регионе с июля по сентябрь [113].

Отличительной особенностью климатических процессов в летнее время над Приморьем является выход тайфунов на побережье края [113]. Повторяемость тайфунов невелика. Из 20-25 тайфунов сформировавшиеся над океаном, доходит

до побережья всего 1 до 4 тайфунов за сезон. В основном тайфуны приходят в регион с южного направления (25 с.ш.). При небольших скоростях ветра тайфун добирается до Приморского края за 6 дней. Давление в центре тайфуна варьируется от 960 гПа до 1005 гПа.

Сезон тайфунов на территории Приморского края длится с июля по сентябрь, при этом максимальное количество относится к августу и к сентябрю (до 70% всех случаев).

В начале лета и в конце теплого периода (октябрь) тайфуны над территорией Японского моря возникают крайне редко, а в остальное время их совсем не бывает. Это объясняется изменением в положениях антициклонов Тихого океана и области западных потоков умеренных широт северного полушария.

В течении краткосрочного действия тайфуна (обычно это 1-2 дня) на станциях Приморского края, особенно в районе Владивостока и Посыета, может пролиться до 400 мм осадков.

В осенние месяцы происходит постепенный разворот в сторону зимнего типа атмосферной циркуляции. В это время года устанавливается солнечная и сухая погода. Это происходит благодаря частому перемещению антициклонов с запада в районе 50 с. ш. Однако приходящие циклоны интенсивнее, чем летние по причине разности температур между широтами. По повторяемости дней с циклонами в осенний период синоптические условия преобладают на условиях антициклонического типа. По мере того, как происходит остывания континентальной части, поступление холодных воздушных масс на территорию Приморья становится интенсивнее, а по времени – продолжительными.

В начале осени (сентябрь), уже фиксируются ветра северных румб, а в ноябре они становятся основными. И начиная с середины октября циркуляционный режим атмосферы начинает носить зимний тип.

Иркутская область: Над северо – востоком Азиатской части России перенос воздушных масс в зональном плане протекает интенсивнее чем в других субъектах Российской Федерации [67]. Это связано с континентальностью климата (удаление от морей и океанов), атмосферной циркуляцией и непростой орографией

местности.

Также, как и для Приморского края, на территории Иркутской области в зимний период характерно влияние Азиатского антициклона, когда его формирование начинает происходить в ноябре. Основной центр антициклона располагается на территориях западной части Монголии, а отдельные отроги способствуют формированию и развитию Лено - Колымского ядра [67].

Благодаря таким синоптическим условиям, в район Восточной Сибири по ультраполярным и полярным направлениям происходит вторжения холодных арктических воздушных масс, что в свою очередь обуславливает солнечную и морозную погоду.

Развитие Сибирского антициклона достигает пика с середины зимы, когда на территорию Восточной Сибири поступают антициклоны с северных направлений (иногда с северо – востока или северо - запада). В начале весны действие Азиатского антициклона снижается. В это же время циклоны активно перемещаются над западными районами Сибири по направлению в сторону востока, и достигая Восточной Сибири они огибают антициклоны по северной части барической системы и двигаются в северо – восточном направлении. Циклоны, приходящие по южной траектории, часто приносят теплые воздушные массы, тем самым вызывая потепления на большей части области. [67].

С приходом летнего сезона циклоническая активность начинает набирать обороты и увеличивается количество т. н. «южных» циклонов на территорию Прибайкалья с холодными фронтами, в которых характерны температурные изменения. В районе Прибайкалья и Саян при движении циклонов на запад области часто наблюдаются проливные дожди, которые по продолжительности могут достигать до 3 суток. Температура при этом не поднимается выше 16 °С [68].

Озеро Байкал также вносит свои коррективы в циркуляционные особенности. За счет сезонных температурных изменений на озере, в прибрежных районах могут наблюдаться отдельные очаги низкого и высокого давления.

Зимой над Байкалом формируются две депрессии, одна из которых занимает большую часть акватории Севера и центра Байкала, а другая, менее значительная

охватывает южный Байкал.

Переход от зимней циркуляции к летней заканчивается в районе апреля, что на месяц раньше, чем во внутренних районах Иркутской области. В течении апреля – мая происходит формирования зон повышенного давления, которые потом перерастают в отдельные антициклоны локального характера [68].

Летний период в Иркутской области значительно отличается от зимнего времени. Увеличивается количество циклонов, возникающих из-за термических условий. Июнь в основном характеризуется засушливой погодой, с высокими температурами воздуха, а во второй половине начинается период с сильными дождями. Это в основном связано с активизацией циклонической деятельности над Монголией и выходом южных циклонов в район Прибайкалья.

Исследования в области микроциркуляции атмосферы над восточными территориями Сибири доказывают, что происходит проникновение воздуха в глубь территории с Атлантики, а также значительные изменения в сторону повышения количества показателей зональной циркуляции. Среди циркуляционных механизмов воздействия авторы выделяют перерождение циклонических систем над промышленными зонами и их продолжительное существование в атмосфере. [68,93].

Именно ныряющие циклоны, которые зарождаются над Баренцевым морем, на арктическом фронте в Атлантике, в районе п-ова Таймыр и смещаются в сторону Иркутской области вызывают резкие изменения в синоптические условия региона [113].

По сравнению с «ныряющими» циклонами доля повторяемости «южных циклонов» несколько ниже. Эти циклоны формируются над территориями Казахстана, Каспия, Монголии.

Следует отметить, что при выходе «южных циклонов» формирование полей облачности и атмосферных осадков над южными районами Иркутской области и оз. Байкал усилено орографическими восходящими токами на наветренных склонах хр. Хамар-Дабан, вовлекаемых на высотах в переднюю часть макроложбины с характерными для нее динамическими факторами падения

давления. Поэтому «южные циклоны» чаще всего являются основным поставщиком влаги на территорию Иркутской области, особенно в теплый период, чему способствует максимальное тепло- и влагосодержание атмосферы в это время года и частое развитие блокирующих процессов на востоке определяющих длительность влияния южных циклонов на погодные условия в исследуемом регионе [113].

По многолетним данным на территорию области в среднем за год смещается около 200 фронтальных разделов, которые в большинство случаев являются основными теплыми и холодными фронтами, разделяющими разнородные по температурным и влажностным свойствам воздушные массы. Вдвое реже на синоптических картах выявляются фронты окклюзии, которым в нижней тропосфере соответствует хорошо выраженный гребень тепла, в вторичные, преимущественно холодные фронты, возникающие в холодной неустойчиво стратифицированной воздушной массе в тыловой части циклонов либо на восточной периферия антициклонов.

Забайкальский край: В районе Забайкалья основным климатообразующим фактором будет являться действие циркуляции – в особенности горно – долинных ветров и бризовых. За счет прибрежных гор изменяется скорость ветра над сушей, а направление склонов относительно направления потоков воздуха (наветренная или подветренная сторона) будет обуславливать особый локальный механизм атмосферной циркуляции, основанный на барических и/или термических градиентах. Внутрикотловинные ветра считаются самыми сильными и мощными. Причина формирования заключается в интенсивном переносе воздуха между котловинами Баргузинского района и Байкала в связи с контрастами в температурном плане. Бризовая циркуляция также зависит от неравномерного прогрева между акваторией и прибрежными районами. Если днем воздух идет со стороны Байкала на сушу, то ночью происходит обратное [129].

Барические системы, которые влияют на синоптические условия Забайкалья представлены следующими центрами.

1. Азорский или как еще называют Северо – Атлантический максимум

благодаря которому в умеренных широтах Евразийского континента наблюдается постоянный перенос западных воздушных масс.

2. Арктический максимум, который также постоянен, но зимой на климат Забайкальского края практически не оказывает своего влияния, по причине действия Азиатского антициклона, в котором давление выше, а воздушные массы являются более холодными. В редких случаях в Забайкалье возможен выход «южного» циклона.

3. Азиатский или Сибирский максимум, который является основной барической системой в зимний период. Центр располагается над Монголией, а отроги отходят в сторону запада и в сторону Оймякона (Республика Саха - Якутия). По Верхоянскому отрогу в сторону Тихого и Северного Ледовитого океанов переносится сухие и очень холодные воздушные массы, которые называются зимним муссоном.

4. Северно-Тихоокеанский максимум, который также имеет круглогодичное действие, но также как в случае с Арктический максимум практически не оказывает своего влияния на климат края в зимний период, за счет действия более сильного Азиатского антициклона. Однако с разрушением Сибирского антициклона, возрастает влияние Северно-Тихоокеанский максимум за счет смещения в летнее время ближе к континенту и достигает пика своего влияния на климат региона к августу – сентябрю, когда в регионе фиксируются воздушные массы, приходящие со стороны океана. Их выход происходит по двум основным траекториям: через территорию Китая и Монголии и через Охотское море в сторону Запада (нередко и до Байкала).

5. Южно-Азиатский минимум действующий в основном летом. Депрессия распространяется на Восточную Сибирь (в частности Забайкальский край) от центра барической системы (от Гималаев на восточной части центра до Персидского залива на западной ее части). В связи с действием этого центра происходит выход летних муссонов на территорию Забайкальского края со стороны Тихого и Северного Ледовитого океана.

Проанализировав состав барических систем, можно сказать, что на климат

региона будут оказывать свое влияние следующие типы воздушных потоков: умеренные морские, умеренные континентальные, тропические континентальные (со стороны Средней Азии, Монголии, Казахстана) и арктические. Доля тропических масс невелика и в процентном соотношении достигает 1%, однако доля умеренного континентального воздуха в регионе наибольшая (для г. Чита показатель равен 80%).

В холодный период года в Восточном Забайкалье устанавливается область высокого давления воздуха - Сибирский антициклон. В ясную погоду (характерную для устойчивого антициклона) воздух застаивается в вогнутых формах рельефа и сильно выхолаживается.

В конце зимы и весной преобладают факторы зональной циркуляции, определяющие западно-восточный перенос. При этом усиливается циклоническая деятельность, которая обеспечивает резкое увеличение количества выпадающих осадков. Летом западно-восточный перенос ослабевает. Во второй половине лета, вследствие развития муссонной циркуляции, с южными циклонами поступает морской тропический воздух, вызывающий обильные осадки. Циркуляционные условия осеннего периода характеризуются развитием общего западно-восточного переноса, который прорывается вторжением с севера арктических воздушных масс, сопровождающимся усилением ветра и значительными похолоданиями.

Характерны горно-долинные ветры, дующие в основном ночью и усиливающие ночное понижение температуры воздуха, приводящее иногда и к заморозкам. Такие воздушные потоки распространяются на значительное расстояние. На участках, удаленных от гор и защищенных лесом, ночью, как правило, наблюдаются штили. Кроме того, вблизи озер заметно влияние бризовой циркуляции. Местные особенности (характер подстилающей поверхности, облачность, влажность воздуха и т.п.) сильно влияют на расходные составляющие радиационного баланса, прежде всего на величину отраженной радиации и эффективное излучение, заметно изменяют радиационный баланс земной поверхности на разных участках.

Основные выводы по 2 главе

- Приморский край - наиболее заселенная и освоенная в хозяйственном отношении территория Дальнего Востока.
- По характеру рельефа Приморский край является горной страной, представленной сложной сильно расчлененной складчатой системой Сихотэ-Алинь.
- Географическое положение Приморского края, находящегося на стыке азиатского материка с Тихим океаном, обуславливает резко выраженные сезонные чередования областей высокого и низкого атмосферного давления, что приводит к развитию над территорией края сильных муссонных ветров зимой с суши на море, летом с океана на материк.
- Атмосферная циркуляция является одним из главных климатообразующих факторов. По классификации Б.П. Алисова, Приморский край, относится к муссонной области умеренного пояса. Для него характерна сезонная смена воздушных течений, возникающих под влиянием термических контрастов между материком и океаном, а также изменений в местоположении сезонных центров действия атмосферы (ЦДА) и тропосферных фронтов (полярного и арктического).
- Большая протяженность Иркутской области с запада на восток (1500 км) и с юга на север (1400 км) обуславливает разнообразие природных условий и наличие широтной зональности, а значительная удаленность от океанов проявляется в достаточно суровых климатических условиях и высокой степени континентальности климата [16].
- В орографическом отношении основную часть территории Иркутской области занимает южная окраина Среднесибирского плоскогорья. Рельеф плоскогорья разнообразен: в одних местах это плоская аллювиальная равнина, в других - горная страна с крутыми склонами речных долин и узкими водораздельными гребнями.
- Сложная и глубокая расчлененность рельефа, местами значительные и резкие различия высот, особенно на севере Байкала и горной области Восточного

Саяна, определяют большую пестроту и многообразие в почвенно-растительного покрова.

- В целом климатический режим юга Восточной Сибири характеризуется как резко-континентальный с продолжительной малоснежной зимой и коротким, но влажным летом.

- Забайкалье является типичной горной страной сложного неоднородного строения, основу рельефа которой составляют разновысотные горные хребты и межгорные впадины.

- Климат края, как и большей части Восточной Сибири, резко-континентальный с недостаточным количеством атмосферных осадков и большими суточными и годовыми амплитудами колебаний температуры воздуха.

- На территории края прослеживаются три растительные зоны: горно-таежная, лесостепная и степная.

Глава 3 Объекты и методы исследования

3.1 Объекты исследований

Объектами исследования являются территории Приморского и Забайкальского края, а также территория Иркутской области. Данные территории представляют особый интерес с точки зрения антропогенного загрязнения, в частности Приморский край граничит с Китаем откуда поступают загрязняющие вещества с атмосферными осадками. Территория Иркутской области и Забайкальского представляют интерес за счет регионального (местного) загрязнения, поскольку здесь расположена большое количество промышленных предприятий.

В работе рассматривается период с 2003 по 2020 гг. Отбор проб осадков осуществлялся на станциях сети наблюдений за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков Росгидромета и анализировался в лабораториях УГМС. Пробы взяты со станций Иркутского и Забайкальского УГМС определялись в лаборатории Саянска, а анализ осадков Приморского УГМС на наличие химических веществ проводился в г. Владивосток. В большинстве случаев отбор осадков осуществляется каждый месяц, за исключением станций Терней, Иркутск, Чита, где пробы отбирают раз в неделю.

Для реализации метода интерполяции в геоинформационной системе QGIS помимо информации со станций ХСО были получены данные (суммы осадков) от метеорологических станций. Таким образом фактический материал для исследования состоял из 153 электронных таблиц по годам с информацией о концентрациях загрязняющих веществ на станциях исследуемого региона (мг/л), а также 102 картинки по интерполяции данных ХСО на метеостанции региона (по сульфатам и нитратам), а также 102 картинки интерполяции выпадений сульфатов и нитратов по ячейкам 100 на 100 км на все регионы исследования по результатам объединенной сети метеорологической сети с сетью ХСО.

Помимо собственных материалов в работе использованы данные Главной геофизической обсерватории им. А.Е. Воейкова (ГГО) по химическому составу атмосферных осадков (2001 – 2005, 2006 – 2010, 2011 – 2015, 2016 - 2020), которые издаются в виде Обзора и публикуются на официальном сайте.

Карта – схема расположения сети наблюдений за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков Росгидромета (красные точки) и метеостанций (синие точки) представлены на рисунке 1,2,3.

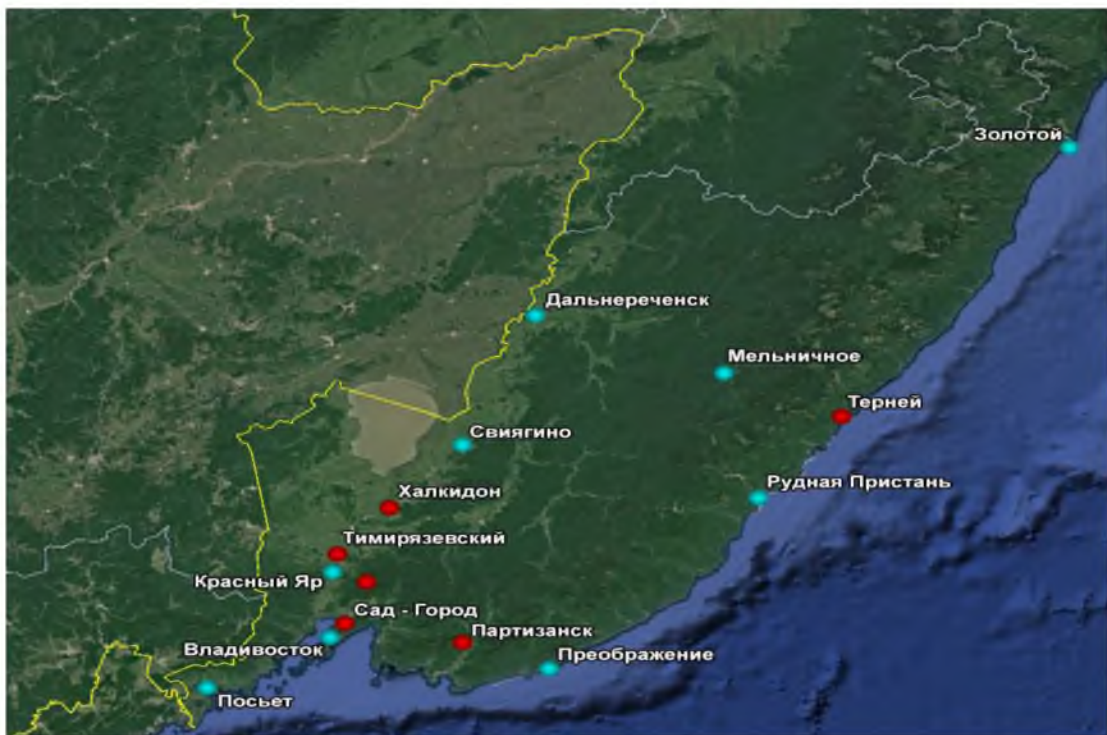


Рисунок 1. Расположение станций химического содержания осадков и метеорологических постов в Приморском крае

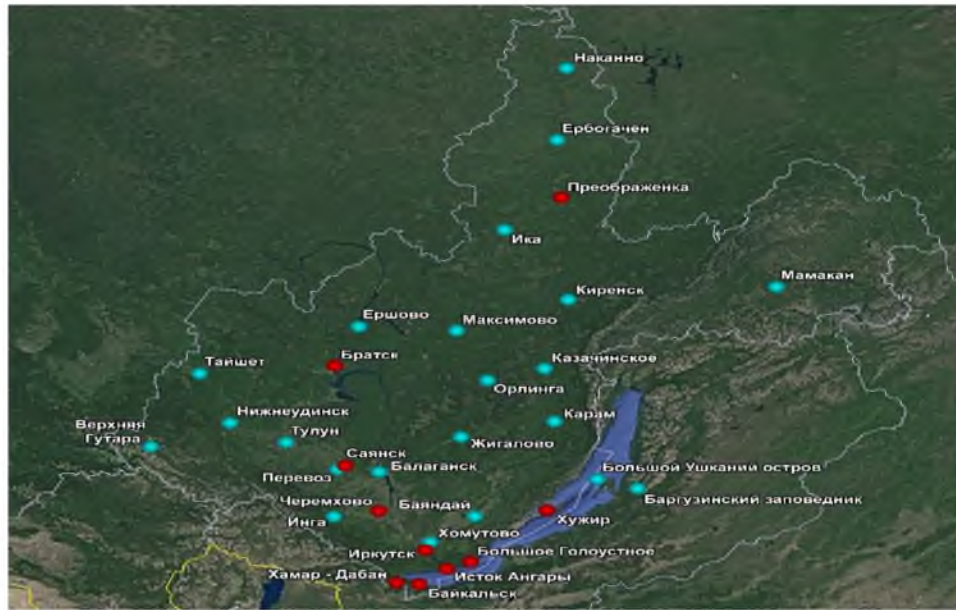


Рисунок 2. Расположение станций химического содержания осадков и метеорологических постов в Иркутской области

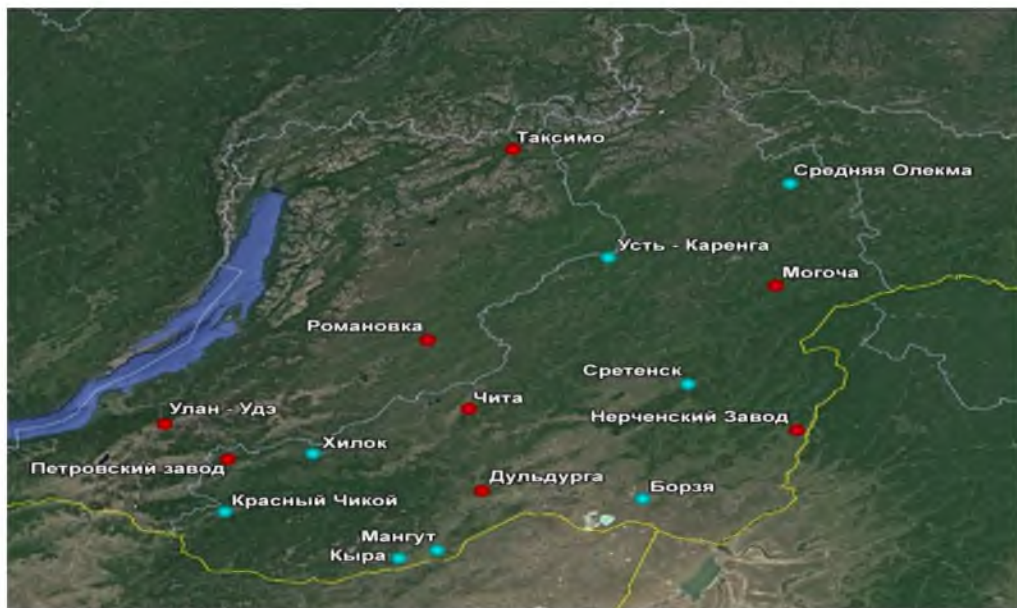


Рисунок 3. Расположение станций химического содержания осадков и метеорологических постов в Забайкальском крае

Данные о содержания средневзвешенных концентрациях серы и азота получены по результатам сбора и анализа проб осадков на 6-ти станциях ФГБУ Приморское УГМС, 10-ти станциях ФГБУ Иркутское УГМС и 8-ми станциях ФГБУ Забайкальское УГМС. Мониторинг за выпавшими осадками и анализ их на химические вещества проводятся ежедневно, со сменой осадкометра в 9 часов утра

по местному времени. Анализы проб со станций химического содержания осадков Приморского края проводятся в лаборатории по мониторингу загрязнения атмосферы (ЛЗМА) ЦМС ФГБУ «Приморское УГМС», а данные со станций Иркутской области и Забайкальского края проводятся в лаборатории КЛМС ФГБУ "Иркутское УГМС" расположенная в городе Саянск.

Полученные и обработанные данные включаются в разделы ежегодного обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации выпускаемые «ИГКЭ», в обзоры Росгидромета.

В исследуемых территориях организована работа двух сетей мониторинга метеостанции которые ведут наблюдения за погодой и станции химического содержания осадков, которые в свою очередь проводят измерение содержания в осадках загрязняющих веществ.

3.2 Методы исследования

Отбор проб. Химический состав осадков является интегральной характеристикой загрязнения слоя атмосферы, в котором образуются облака. Отбор проб атмосферных осадков производится на метеорологических станциях, расположенных как в сельской местности, так и в пределах города или промышленного района [69]. Из сети станций по отбору проб атмосферных осадков в сельской местности выделены станции мониторинга фоновое загрязнение атмосферы, вошедшие в международную сеть ВМО. Наблюдения на сети станций мониторинга фоновое загрязнение атмосферы осуществляется в районах минимального загрязнения (базовые станции) и в районах, подверженных влиянию хозяйственной деятельности человека, куда загрязняющие вещества поступают путем местных миграционных процессов (региональные станции).

При отборе осадков должно быть исключено попадание в пробу посторонних веществ. Стандартный осадкомер, изготовленный из химически нестойкого материала, для этой цели непригоден. При ручном способе отбора проб

используются устройства, установленные только на период выпадения осадков. Для анализа важно собрать первые, наиболее загрязненные порции осадков, поэтому на метеостанциях следует предусмотреть круглосуточный режим работы. При автоматическом отборе проб осадков используется установка, снабженная устройством, которое автоматически открывает крышку над приёмной поверхностью в начале выпадения осадков и закрывает ее после их прекращения. Она обеспечивает измерения величины рН и электропроводности осадков [69].

Отбор проб производится на открытой ровной площадке, удаленной не менее чем на 100 м от деревьев, холмов, зданий, линий электропередачи, местных источников загрязнения атмосферы. Приемные поверхности осадкосборника и стандартного осадкомера должны быть примерно на одинаковом уровне от подстилающей поверхности.

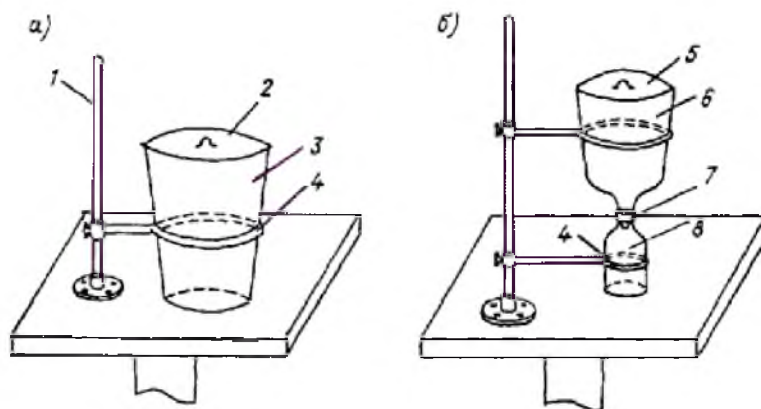
В зависимости от периода отбора пробы могут быть суммарные и единичные. Единичная проба отбирается в период отдельного дождя или снегопада; сбор осадков может продолжаться от нескольких минут до нескольких часов, иногда суток. Если осадки выпадают с небольшим перерывом (менее 1 ч) и при неизменной облачности, их отбирают в один сосуд. При перерыве более 1 ч осадки собирают как отдельные пробы. Суммарная проба включает осадки, объединенные за некоторый промежуток времени: месяц, неделю, сутки. Такая проба характеризует среднее содержание определяемых компонентов за соответствующий период времени [69].

В соответствии с рекомендацией ВМО, период отбора проб на станциях фонового мониторинга составляет 7 сут. Каждый недельный период начинается во вторник, в срок, ближайший к 8 ч поясного декретного (зимнего) времени, когда производится измерение количества осадков. На обычной сети станций собирают месячные пробы. При необходимости выяснения влияния метеорологических условий и локальных источников загрязнения на химический состав осадков программа работ на станциях может предусматривать отбор как суммарных, так и единичных проб осадков [69].

В связи с тем, что содержание растворенных в осадках веществ невелико и измеряется миллиграммами или даже долями миллиграмма в 1 дм³ воды, требуется строгое соблюдение условий отбора, хранения и анализа проб осадков. Необходимо исключить попадание посторонних веществ в пробы осадков как в момент отбора, так и во время их хранения и транспортировки в централизованные лаборатории. Организация транспортировки проб должна обеспечить минимальные сроки между отбором и анализом проб осадков.

Оборудование для отбора проб. Осадкосборные устройства и сосуды для хранения и транспортировки проб атмосферных осадков должны быть изготовлены из прочного химически стойкого материала. Их пригодность необходимо исследовать в химической лаборатории путем измерения электропроводности и pH дистиллированной воды, которую наливают в эти сосуды. За 1 сут допустимо изменение значения pH на 0,3, электропроводности на 1 - 2 мкСм/см. Полиэтиленовые колбы (флаконы), предназначенные для отбора и хранения проб, доставляются на станцию из химической лаборатории тщательно промытыми, закрытыми, пронумерованными и взвешенными. Они открываются только на время отбора проб осадков [69].

При ручном способе отбора проб осадков в теплый и холодный периоды используют разные осадкосборные устройства. Отбор проб дождевой воды осуществляется через эмалированные, стеклянные или полиэтиленовые воронки с надетым на горловину защитным приспособлением, препятствующим попаданию осадков, стекающих по внешней стороне воронки в сборную колбу (рисунок 4). В качестве такого приспособления можно использовать крышку от полиэтиленовой колбы с просверленным в ней отверстием для горловины воронки. Конец воронки должен входить в сборную колбу. Для отбора проб твердых осадков (снег) применяют эмалированные кюветы или пластмассовые ванночки с крышками размером 30 -40 см и высотой не менее 5 см. Полиэтиленовые ведра вместимостью 5 - 10 дм³ можно использовать для отбора проб как жидких, так и твердых осадков.



1 - штатив; 2, 5 - крышка; 3 - полиэтиленовое ведро; 4 - кольца держателя; 6 - полиэтиленовая воронка (диаметр 23 см); 7 - навинчивающаяся крышка; 8 - полиэтиленовая колба.

Рисунок 4. Установка для отбора твердых (а) и жидких осадков (б)

Площадь приемной поверхности устройства для отбора проб определяется объемом пробы, необходимым для выполнения анализа, и средним количеством осадков, выпадающих за тот или иной период отбора. Для проведения полного анализа химического состава осадков необходимо не менее 250 см^3 воды, поэтому диаметр приемной поверхности при отборе месячных проб жидких осадков должен быть не меньше 15 см, недельных - 20 см, единичных - 25 см. В тех районах, где наименьшее значение средней месячной суммы осадков составляет 5 мм, диаметр воронки для отбора месячных или недельных проб должен быть не менее 25 см.

Воронки, ведра, кюветы или ванночки, закрытые крышкой и помещенные в чистые полиэтиленовые мешки, а также запасные колбы, доставляемые из химической лаборатории, должны храниться в шкафу или хорошо закрывающемся ящике в чистом помещении [69].

Для транспортировки и хранения чистой посуды и проб осадков применяются специальные ящики. Объем суммарных проб осадков может составлять от 2 до 4 дм^3 , поэтому следует предусмотреть место для шести колб вместимостью 0,5 дм^3 или четырех колб вместимостью 1,0 дм^3 . При отборе единичных проб целесообразно использовать колбы вместимостью 0,25 дм^3 . Транспортировочные ящики имеют размеры 30×30×25 см. В них в зависимости от вместимости пересылаемых колб вставляют фанерные перегородки с ячейками соответствующих размеров. Ящик закрывается выдвижной крышкой, на одной

стороне которой написан адрес станции, на другой - лаборатории, где проводится анализ пробы. Перед отправкой ящика крышка задвигается так, чтобы на ее наружной стороне был адрес пункта назначения, и привинчивается шурупами.

Отправка месячных проб осуществляется не позднее 5-го числа следующего месяца, недельных и единичных проб - каждый четверг. При этом единичные пробы сопровождают заполненной таблицей наблюдений за химическим составом осадков (ТНХО).

Установка для отбора проб осадков располагается на столе размером 80×80 см, установленном на высоте 130 - 150 см от поверхности земли. При отборе проб жидких осадков она состоит из полиэтиленовой приемной воронки 6, крышки 5, полиэтиленовой колбы 8 вместимостью 500 см³, штатива 1 и двух колец 4 разного размера. На горловине воронки имеется резьба, на которую навинчивается крышка 7 от стандартной колбы вместимостью 500 см³ с отверстием для горловины воронки. Не рекомендуется использовать в качестве сборного сосуда одну и ту же колбу, так как на ее стенках могут адсорбироваться примеси, которые при ополаскивании дистиллированной водой полностью не удаляются.

В зимнее время штатив убирают, металлические части тщательно протирают машинным маслом и хранят в сухом месте. Воронка и колба хранятся отдельно в полиэтиленовом пакете [69].

Для отбора проб твердых осадков используют кювету с ветровой защитой или полиэтиленовое ведро вместимостью 10 дм³, диаметр приемной поверхности которого равен 25 - 30 см (рисунок 4).

Порядок отбора и хранения проб. В теплый период перед началом выпадения жидких осадков выносят на метеоплощадку воронку с навинченной на ее конец колбой вместимостью 0,5 дм³, упакованные в полиэтиленовый пакет. Извлекают из пакета воронку с колбой и устанавливают их на столе, как показано. Воронку закрывают крышкой или чистым полиэтиленовым мешком. В момент начала выпадения осадков крышку или мешок снимают и убирают в полиэтиленовый пакет. Если дождь идет с перерывами, то на время перерыва необходимо закрыть воронку крышкой или полиэтиленовым мешком. Если колба

успевает заполниться до прекращения дождя, то ее осторожно вывинчивают и сразу же вставляют новую. По окончании дождя колбу и воронку убирают с площадки и переносят в помещение. Воронку и крышку ополаскивают дистиллированной водой, стряхивают остатки дистиллированной воды, закрывают воронку крышкой и вкладывают в чистый полиэтиленовый пакет и затем убирают в шкаф.

Дистиллированная вода вместе с чистыми колбами для отбора проб осадков высылается на станцию из лаборатории в закрытых полиэтиленовых колбах.

В зимний период перед началом выпадения твердых осадкой (снега) выносят кювету (ванночку), закрытую крышкой или другой кюветой на метеоплощадку и устанавливают ее на столе внутри ветровой защиты. В момент начала выпадения снега крышку снимают и убирают в полиэтиленовый пакет. Если снег идет с перерывами, то на время перерыва кювету необходимо закрывать крышкой. По окончании выпадения снега кювету закрывают крышкой и переносят в помещение. Таяние снега происходит в удаленной от источников обогрева закрытой кювете при комнатной температуре.

В помещении метеостанции собранные недельные или месячные пробы осадков переливают в колбу вместимостью 0,5 или 1,0 дм³, плотно закрывают ее крышкой и убирают в темное прохладное место (шкаф или ящик). При наполнении одной колбы используют другие свободные колбы. Однако следует помнить, что нельзя смешивать осадки, выпавшие в течение разных недель или месяцев [69].

Единичные пробы жидких осадков хранят и транспортируют в тех колбах, в которые они были собраны. При отборе проб твердых осадков талую воду сливают в колбу, предназначенную для хранения единичной пробы, после заполнения одной колбы остаток переливают в другую колбу. В случае продолжительного дождя или снегопада необходимо собрать их полное количество, при этом могут быть последовательно заполнены несколько колб. Пробы рекомендуется хранить при температуре +5 °С.

Если объем суммарной или единичной пробы оказался меньше 10 см³, то ее выливают, так как такого объема недостаточно для проведения анализа.

Освободившуюся колбу ополаскивают дистиллированной водой, закрывают пробкой и в дальнейшем снова используют для отбора проб. Однако, если программой исследования предусмотрено измерение рН или других параметров сразу после выпадения осадков, то в этом случае используется и количество осадков, меньшее 10 см³.

Сборную колбу, кювету (ванночку) после переливания из них осадков, а также крышку от кюветы ополаскивают дистиллированной водой. Стряхивают остатки воды, закрывают их соответствующими крышками, укладывают отдельно в полиэтиленовые пакеты и готовые к следующему употреблению хранят в шкафу или специальном ящике. В таблице ТНХО-1 или ТНХО-2 указывают номер колбы и необходимые сведения.

В конце каждого месяца воронку (в теплый период) или кюветы (в холодный период) промывают теплой водой с хозяйственным мылом, затем теплой чистой водой, после чего ополаскивают дистиллированной водой не менее трех раз и помещают в чистые полиэтиленовые пакеты, присылаемые из лаборатории. Использование для мытья сборных устройств синтетических стиральных порошков и пищевой соды категорически запрещается, поскольку следы этих веществ при последующем ополаскивании водой полностью не удаляются и могут быть причиной искажения химического состава осадков. В помещении, где находятся пробы осадков, нельзя хранить химические вещества бытового и производственного характера (поваренную соль, растворы аммиака, кислот, оснований и т.д.).

Определение рН и электропроводности на метеостанции. Химический состав проб осадков трансформируется как со временем, так и при смешивании отдельных проб для получения суммарной (недельной, месячной), поэтому рекомендуется производить измерение неустойчивых параметров в пункте отбора проб сразу после выпадения осадков, например, водородного показателя рН, кислотности (щелочности) атмосферной воды. В связи с этим в программу работ на станциях по особому указанию могут быть включены измерения рН и удельной электропроводности. При отсутствии возможности проведения инструментальных

измерений можно получить качественную оценку кислотности (щелочности) путем определения реакции воды проб осадков с помощью смешанного индикатора.

Смешанный индикатор готовят в лаборатории из метилового красного (0,2 %-ный раствор в спирте) и метиленового голубого (0,1 %-ный раствор в спирте) в объемном соотношении 1:1. В кислой среде окраска индикатора красно-фиолетовая, в щелочной - зеленая. При значении рН, равном 5,4, происходит изменение окраски индикатора на серую. Индикатор следует хранить в темной капельнице, обернутой черной бумагой. Срок хранения индикатора 3 - 4 мес [69].

Для определения реакции пробы осадков наливают до метки в пробирку 5 см³ собранную воду, добавляют из капельницы 2 - 3 капли индикатора, закрывают пробирку пробкой, хорошо перемешивают содержимое. Наблюдаемый цвет раствора (красно-фиолетовый, зеленый или серый) записывают в таблицу ТНХО-1 или ТНХО-2. После этого раствор из пробирки выливают в канализацию, пробирку и пробку ополаскивают несколько раз дистиллированной водой, высушивают в сушильном шкафу (или на воздухе) и хранят в чистом полиэтиленовом пакете.

Пробирки после использования в течение месяца отправляют в лабораторию для более тщательной обработки, откуда они снова поступают на станцию вместе с чистыми колбами и дистиллированной водой.

Определение эффективности отбора проб. В лаборатории определяют массу собранной воды. Для этого взвешивают все сосуды, в которые собраны в течение месяца единичные и слитые суммарные (недельная, месячная) пробы осадков с точностью 0,1 г, из полученных значений вычитают массу пустых сосудов, определяя тем самым массу (М) собранной воды. Значение М в граммах записывают в таблицу ТНХО-1 или ТНХО-2.

Эффективность или полноту отбора пробы определяют, сопоставляя фактически собранный объем пробы с рассчитанным как произведение площади приемной поверхности воронки или кюветы на количество выпавших осадков за тот или иной период отбора. Поскольку плотность осадков вследствие чрезвычайно малой минерализации близка к плотности воды, равной единице, то масса собранной воды в граммах равна ее объему, выраженному в см³.

Эффективность отбора проб (η %) рассчитывают по формуле, которая представлена на рисунке 5.

$$\eta = \frac{M}{hS} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где M - масса пробы в граммах, равная ее объему в см^3 ;

h - количество осадков по стандартному осадкомеру, см;

S - площадь приемной поверхности воронки или кюветы, см^2 .

Сотрудник лаборатории, сделав соответствующие расчеты по формуле (1), записывает замечания критического контроля в таблицу ТНХО-1 или ТНХО-2.

Рисунок 5. Формула эффективности отбора проб

3.3. Методики химического анализа

3.3.1. Определение сульфат-иона

Методика предназначена для определения массовой концентрации сульфат-ионов в пробах атмосферных осадков в диапазоне 0,5 - 30,0 мг/дм³

Норма точности измерений: По результатам метрологического исследования, при определении массовой концентрации сульфат-ионов в пробах атмосферных осадков в диапазоне 0,5 - 30,0 мг/дм³ суммарная погрешность не превышает $\pm 30\%$.

Метод измерения: Для определения концентрации сульфат-ионов в пробах атмосферных осадков используют нефелометрический метод. Метод основан на взаимодействии сульфат-ионов и ионов бария с образованием труднорастворимого соединения сульфата бария в виде суспензии. Для стабилизации суспензии применяют смесь этилового спирта с этиленгликолем в соотношении 1:1.

Выполнение измерений: Отбирают в пробирки по 25 см^3 пробы атмосферных осадков ($\alpha \leq 30$ мкСм/см) и по 10 см^3 ($\alpha > 30$ мкСм/см). В каждую пробирку приливают по 4 см^3 осаждающего реактива, интенсивно перемешивают стеклянной палочкой с расплюснутым концом и через 6 мин измеряют оптическую плотность образовавшейся суспензии сульфата бария при $\lambda = 400$ нм

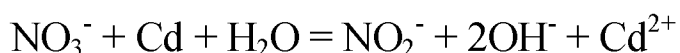
относительно дистиллированной воды. Для повышения точности определения необходимо учитывать мутность проб атмосферных осадков. Для этого часть пробы отливают в кювету и измеряют оптическую плотность пробы относительно дистиллированной воды. [69]

Вычисление результата измерений: Массовую концентрацию сульфат-иона в пробе находят из градуировочной характеристики по разности оптических плотностей исследуемой суспензии и нулевой пробы с учетом мутности пробы атмосферных осадков.

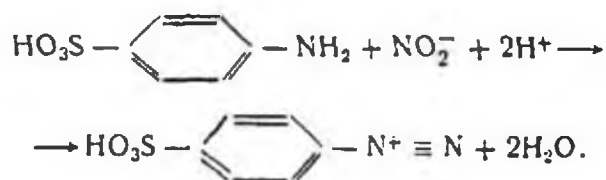
3.3.2. Определение нитрат-иона

Нормы точности измерений: По результатам метрологического исследования, при определении массовой концентрации нитрат-ионов в пробах атмосферных осадков в диапазоне 0,05 - 1,50 мг/дм³ суммарная погрешность не превышает $\pm 10\%$.

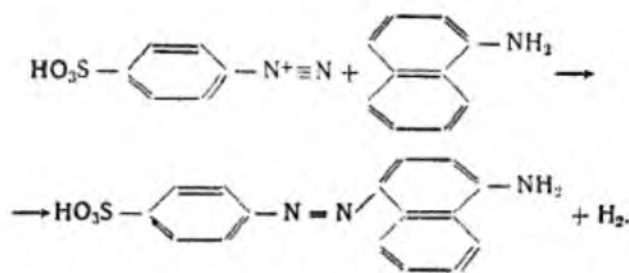
Метод измерения: Метод основан на восстановлении нитрат-ионов металлическим кадмием:



и последующем определении образующихся нитрит-ионов с реактивом Грисса-Илосвая. Нитрит-ион взаимодействует с сульфаниловой кислотой (первичный ароматический амин), образуя соль диазония:



Соль диазония реагирует с 1-нафтиламином с образованием сильно окрашенного азотосоединения:



По интенсивности окраски образующегося азотосоединения определяют фотометрическим методом содержание нитрит-ионов.

Выполнение измерений: Отбирают по 10 см³ пробы атмосферных осадков в пробирки кассеты устройства для восстановления, приготовленного к работе в соответствии с п. 7.3. Содержимое пробирок перемешивают вращением 30 - 35 мин. Каждый раз одновременно с пробами готовят нулевой раствор. Для этого 10 см³ дистиллированной воды отбирают в пробирку из кассеты и перемешивают вместе с пробами. Отбирают по 5 см³ восстановленной пробы и нулевого раствора в чистые сухие пробирки, приливают точно по 0,5 см³ свежеприготовленного реактива Грисса-Илосвая и через 45 мин измеряют оптическую плотность окрашенных растворов.

Вычисление результата измерений: Массовую концентрацию нитрат-иона в пробе находят из градуировочной характеристики по разности оптических плотностей исследуемого раствора и нулевой пробы [69].

3.4 Интерполяция данных о содержании концентраций сульфатов в геоинформационной системе QGIS

Quantum GIS (QGIS) – это свободная бесплатная десктопная географическая информационная система с открытым кодом. С ее помощью можно создавать, редактировать, визуализировать, анализировать и публиковать геопространственную информацию в Windows, Mac, Linux,. Система хорошо документирована на русском языке, плюс у нее обширное русскоязычное сообщество пользователей и разработчиков [138].

Функциональность QGIS определяется большим количеством устанавливаемых расширений, загружаемых через меню «Управление модулями». Можно найти модули под самые разнообразные задачи, от геокодинга, до упрощения геометрии, интеграции с картографическими веб-сервисами и 3D-моделирования ландшафта.

Одной из функций которая доступна пользователю ГИС системы является пространственный анализ. Под ним понимается процесс использования исходных данных для получения новой информации. ГИС дает возможность применять инструменты пространственного анализа для статических расчетов и выполнения геобработки в виде интерполяции данных.

Такие факторы как высота местности или температура воздуха, или концентрации загрязняющих веществ в атмосферных осадках имеют дискретные значения. По многим причинам невозможно провести исследования в каждой точке и записать результат, чтобы смоделировать поверхность для последующего анализа. Поэтому стационарные (полевые) измерения проводятся на определенных участках, а промежуточные результаты между станциями или на всей территории исследования рассчитываются в процессе интерполяции и применения соответствующего модуля в геоинформационной системе.

Интерполяция была проведена в QGIS версии 2.8.9. и включала в себя несколько видов интерполяции: обратное взвешенное расстояние, нерегулярная триангуляционная сеть, и метод сплайнов [138].

3.4.1 IDW – Обратное Взвешенное Расстояние.

Смысл метода интерполяции «обратных взвешенных расстояний» заключается в том, что происходит взвешивание точек таким образом, что от точки с известным значением до точки с неизвестным значением происходит процесс «затухания» в зависимости от расстояния. (рисунок 6)

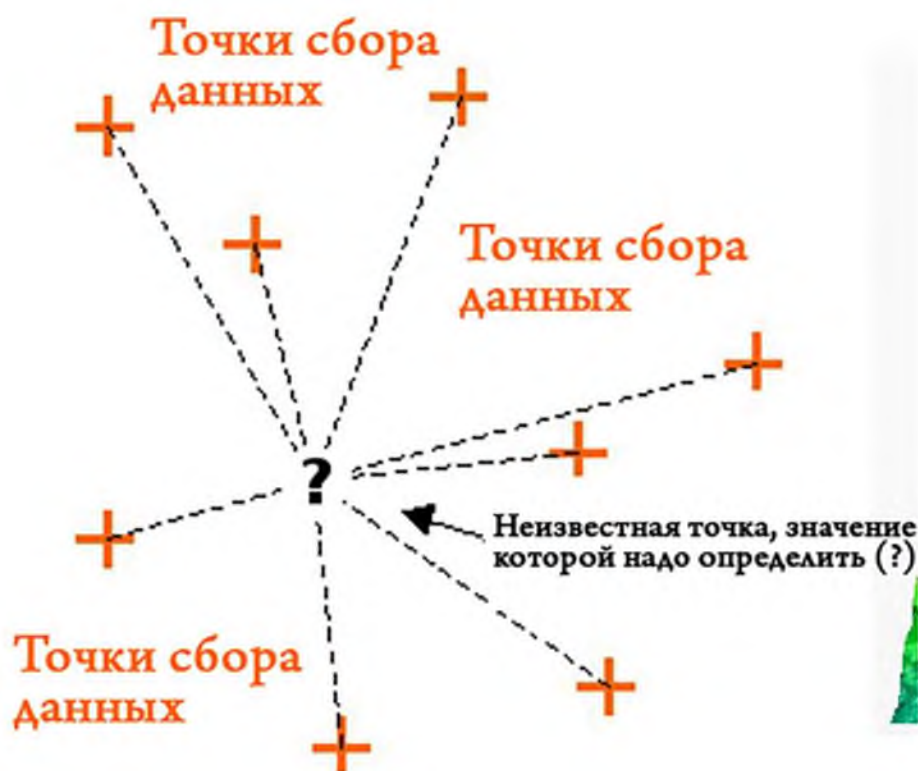


Рисунок 6. Метод интерполяции IDW, основанный на взвешенном расстоянии от точек сбора данных (слева). Источник изображения: Mitas, L., Mitasova, H. (1999)

На основе коэффициента взвешивания точкам сбора данных присваивается определенное значение. Коэффициент взвешивания определяет, как влияние известной точки с увеличением расстояния будет уменьшаться до неизвестной.

С увеличением коэффициента значение неизвестной точки будет приближаться к значению ближайшей известной точки с данными.

В геоинформационных системах конечный результат интерполяции представлен как двумерный растровый слой.

На рисунке 7 мы можем видеть типовой вариант IDW –интерполяции, основанный на значениях концентрации сульфатов в атмосферных осадках на станциях химического содержания осадков в 2003 году и моделирование на станции сети «Примгидромет».

Недостатком метода является неравномерный пространственный характер распределения точек сбора данных. Следовательно, необходим поиск более корректного метода. Из-за этого в местах точек сбора данных и вокруг наблюдаются пики и углубления значений. [138]

Очень хорошо это показано на станции Терней, где концентрация сульфатов составляет 2,45 мг/л. От Тернея в сторону ст. Золотой концентрация увеличивается до 3,66, что является несколько неточным показателем. И к югу и западу от Тернея значения среднегодовых концентраций серы также возрастают до 3,04 и до 3,31 соответственно. Прослеживается закономерность, что до ст. Терней со стороны моря концентрации снижались, на самой станции зафиксировано минимальное значение и от этой точки концентрации по окружности возрастают. Или рассмотрим пример Халкидона, как станции с максимальным уровнем концентрации сульфатов в 2003 году из всех станций Приморского края (5,99 мг/л). Хорошо видно, что зона южнее оз. Ханка имеет более насыщенное цвет, чем северо – восточная территория Китая, откуда в основном приходят кислотные осадки и где сосредоточено большое количество предприятий промышленности (в том числе и угольной). Таким образом, в самом источнике загрязнения (территория Китая) концентрации сульфатов в атмосферных осадках ниже чем, в Халкидоне или на станции Тимирязевский. То есть метод обратных взвешенных расстояний не подходит для точного и подробного анализа территории за счет неравномерности сети. [138]



Рисунок 7. Результат IDW-интерполяции на основе распределенных точек сбора данных о концентрации сульфатов в атмосферных осадках на станциях химического содержания осадков в 2003 году (показаны красными точками) и снятых показаний концентраций на метеостанциях (показаны синими точками).

3.4.2 TIN – Нерегулярная Триангуляционная Сеть

Помимо интерполяции IDW в геоинформационных системах распространенным методом интерполяции также является TIN – Нерегулярная Триангуляционная Сеть. Ее еще называют триангуляцией Делоне. Этот метод отличается от предыдущего, тем что строит поверхность, состоящую из треугольников, которые формируются ближайшими точками. Для реализации данного метода вокруг точек сбора данных проводятся окружности, и в пересечении окружностей они соединяются в сеть треугольников, примыкающих друг к другу без пересечений и разрывов (Рисунок 8).

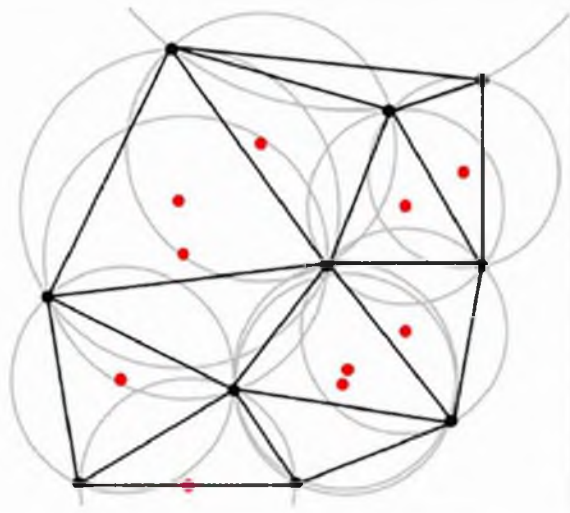


Рисунок 8. Триангуляция Делоне с окружностями, проведенными вокруг точек сбора данных (красные точки).

Основным недостатком метода триангуляции Делоне заключается в том, что результат интерполяции (поверхность) выглядит не гладкой (с использованием сплайна), а достаточно угловатой. Это объясняется тем, что полученные уклоны имеют прерывистый характер т.е. в местах стыковки треугольников наблюдаются перепады. Помимо этого, триангуляция работает только между точками сбора данных и строит поверхность только внутри территории ограничивающую точками. Это значит, что вокруг точки триангуляция не работает и за счет нерегулярности точек это приводит к неожиданным результатам (рисунок 9).

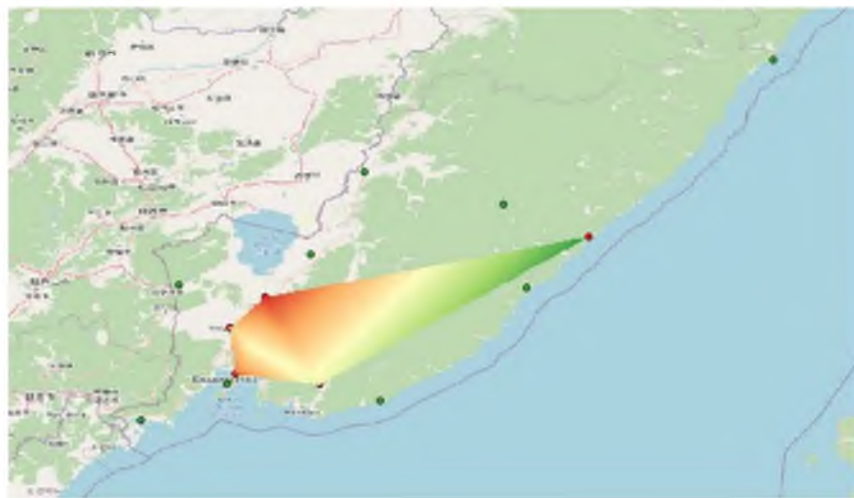


Рисунок 9. Триангуляция Делоне на основе нерегулярных точек сбора данных о концентрации серы в атмосферных осадках.

3.4.3 Интерполяция данных с помощью Thin Spline Global

Для интерполяции данных со станций химического содержания осадков, которые располагаются неравномерно подходит метод интерполяции Thin Spline Global. Этот метод работает в геоинформационной системе QGIS версии 2.8 и выше. Данный метод сочетает в себе интерполяции IDW и TIN и в тоже время она не похожа на эти 2 метода. Суть такова, что предполагаемая поверхность (интерполяция) в зависимости от размера секторов разбивается на отдельные ячейки с определенной размерностью. Чем больше у нас размер ячейки, тем менее точным получится аппроксимация. И наоборот, чем меньше у нас размеры ячеек, которые будут закрашиваются в определенный цвет тем точнее будет результат. [134]

Для реализации данного метода интерполяции в QGIS, загружают карту региона и добавляют с помощью инструментов управления файл с координатами. При добавлении данных в контекстном меню выбирается широта и долгота для корректного изображения схемы станций. При экстраполяции данных исходным файлом для загрузки являются данные сети наблюдений за химическим составом атмосферных осадков. Дополнительным файлом служит набор станций региональной метеорологической сети, для которых выполняется моделирование. Их координаты также загружаются в систему. По окончании загрузки мы получаем карту с расположением станций сети ХСО и метеостанций (рисунок 10).

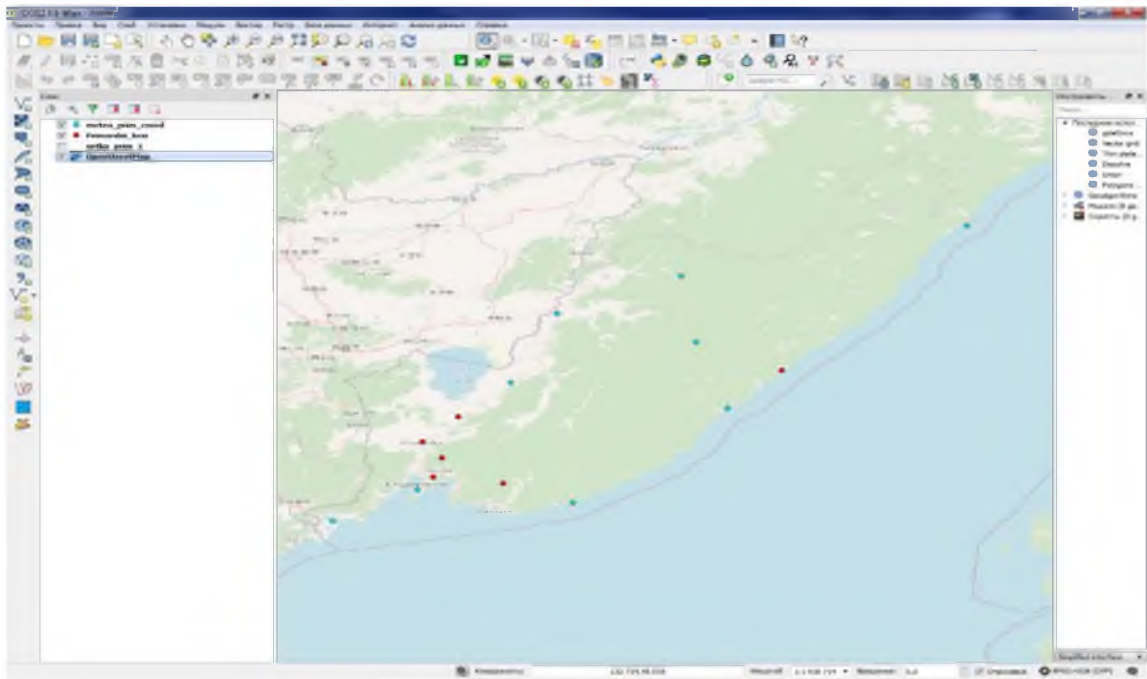


Рисунок 10. Карта Приморского края со станциями химического содержания осадков (красные точки) и метеостанций сети Примгидромет (синие точки).

В электронных таблицах до загрузки точек ХСО, были записаны годовые концентрации сульфатов и нитратов в атмосферных осадках. При использовании интерполяции сплайнов в геоинформационной системе в качестве слоя для для интерполяции мы выбираем станции ХСО, а в качестве атрибута интерполяции (то есть то, что мы хотим смоделировать) выбираем значение концентраций серы. Регуляризацию мы оставляем по умолчанию как 0,001, а размер одной ячейки как 0,05 градуса. Заполнив все необходимые пункты, интерполируем и получаем поверхность, которая разбита на множество мелких ячеек, и каждая ячейка имеет свой оттенок и свое значение (рисунок 11).

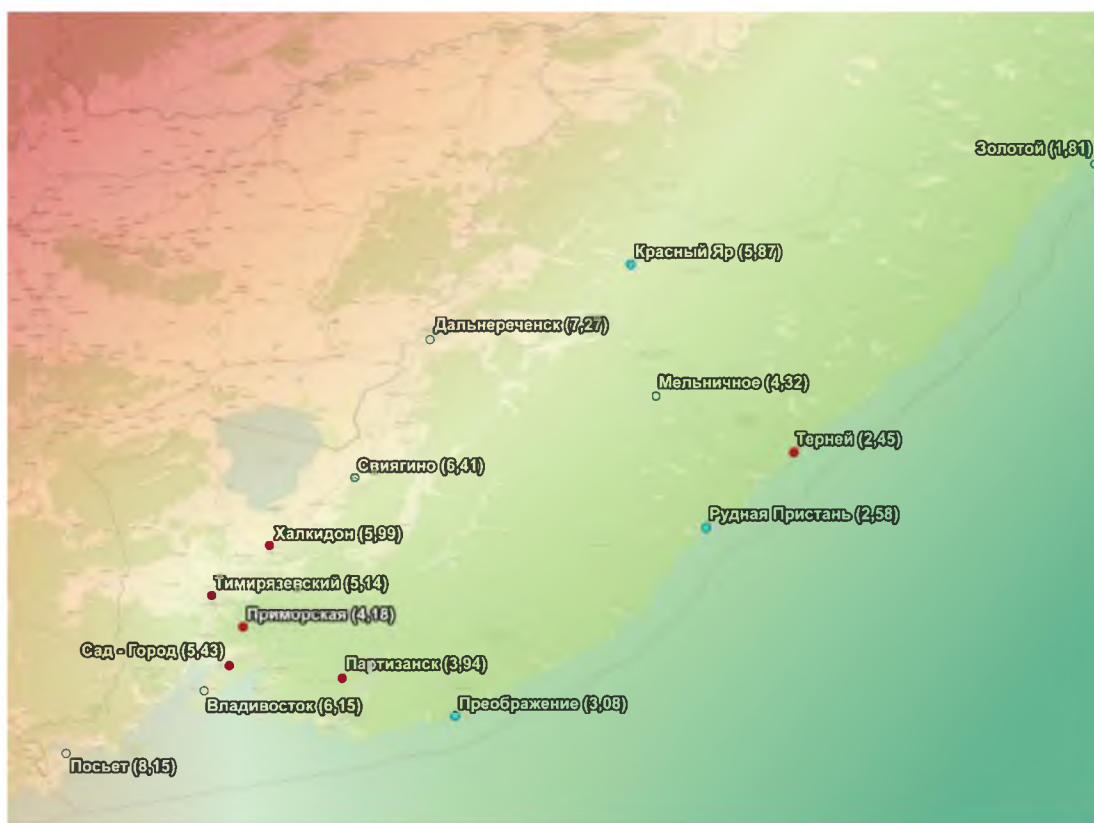


Рисунок 11. Результат интерполяции данных серы в атмосферных осадках на станциях ХСО для всей территории Приморского края

Этот метод отличается от широко распространённого метода интерполяции IDW, тем что в реперных точках мы не наблюдаем пики и соответственно у нас по окружности не увеличивается концентрация с расстоянием. Для примера были взяты данные по концентрациям за 2003 год. При продвижении с севера – востока на юг концентрация возрастает с 1,81 мг/л до 3,08 мг/л (от ст. Золотой до Преображение). Так же данный метод хорошо показывает дифференциацию по концентрации серы в осадках с высокими концентрациями на западе и относительно низкими концентрациями на востоке, связанные с морскими поступлениями сульфатов в регион. Граница (то есть место, где проходит визуальное разделение) проходит по Сихотэ – Алиньскому хребту, а точнее по ее вершине. На станции Мельничное концентрация сульфатов в атмосферных осадках составляет 4,32 мг/л, а в районе станции Партизанск – 3,94 мг/л.

Встроенный в геоинформационную систему модуль «ValueTool», позволяет определить модельное значение концентрации загрязняющих веществ (в частности

сульфатов и нитратов) в атмосферных осадках на территории сети расположения метеорологических станций. Результаты сравнения методов интерполяции на примере полученных результатов моделирования концентраций сульфатов в осадках за 2003 год представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнение результатов содержания сульфатов в атмосферных осадках при использовании различных методов интерполяции (2003 год)

Методы интерполяции	IDW	TIN	Thin Plate Spline (global)
Станции химического содержания осадков			
Сад – Город	5,43	5,43	5,43
Партизанск	3,94	3,94	3,94
Приморская	4,18	4,18	4,18
Тимирязевский	5,14	5,14	5,14
Халкидон	5,99	5,99	5,99
Терней	2,45	2,45	2,45
Метеостанции			
Золотой	3,66	-	1,81
Красный Яр	3,81	-	5,87
Мельничное	3,31	-	4,32
Дальнереченск	4,73	-	7,27
Свиягино	5,17	-	6,41
Рудная Пристань	3,04	-	2,58
Преображение	4,45	-	3,08
Владивосток	5,15	-	6,15
Посьет	4,92	-	8,15

В результате использования метода Thin Plate Spline (global) были смоделированы концентрации сульфатов и нитратов на территории Приморья и южной части Восточной Сибири. В общей сумме были получены 102 модельные поверхности. Определив концентрации на метеостанциях, были выполнены расчеты по выпадению на объединенной сети наблюдений ХСО и

метеорологической сети, а также на всю территорию исследования. Результаты моделирования представлены в 4 главе.

Глава 4. Анализ содержания сульфатов и нитратов в атмосферных осадках на территории Приморья и юга Восточной Сибири

При определении кислотности в атмосферных осадках проводится анализ на предмет наличия в этих осадках химических веществ. Очень часто этими веществами являются соединения серы и азота, которые формируют кислотность осадков и образуют сильные кислоты в естественных условиях. В атмосферных осадках находятся не только соединения серы и азота, но и другие соединения (аммоний, натрий, калий и др.). Совокупность этих соединений и химических реакций в каплях дождя при переносе формируют кислотность осадков тем самым воздействуя на биосферу и гидросферу с негативной стороны, приводя к ухудшению состояние окружающей среды.

Одной из проблем кислотных дождей заключается в их трансграничности. При трансформации выбросов SO_2 и NO_3 в серную и азотистую кислоту, и перенос веществ вместе с атмосферными осадками, влияние кислотности осадков может проявляется в нескольких сотнях и тысячах километров от источника загрязнения. Таким образом эта проблема приобретает международное значение и необходима слаженная работа в этом направлении между государствами. Во многих странах мира с целью выявления воздействия кислотных осадков, была создана сеть станций химического содержания осадков работой которой является измерение количественных параметров содержание химических веществ и обобщение результатов измерений путем составления таблиц с информацией о количестве выпавших осадков и содержании в осадках химических элементов.

В рамках анализа мы определили возможно ли использовать информацию об осадках на метеостанциях и на сети станций ХСО для расширения информации о концентрациях и выпадениях на исследуемые территории. Для этого было определено среднегодовое количество осадков на станциях метеорологической сети и на станциях ХСО, по Приморскому краю, Иркутской области и Забайкальского края.

За осредненный период 2003 – 2020 на территории Приморского края количество атмосферных осадков за год варьировалось от 656 до 887 мм (рисунок 12). Наибольшее количество осадков наблюдается в восточных и южных прибрежных районах (ст. Владивосток и Терней). Такое распределение связано в первую очередь с муссонным типом климата. Как показывает статистика, большинство циклонов, которые формируются над морем за счет юга – западного ветра достигают побережья залива Петра Великого и приносят большое количество влаги в этот регион.

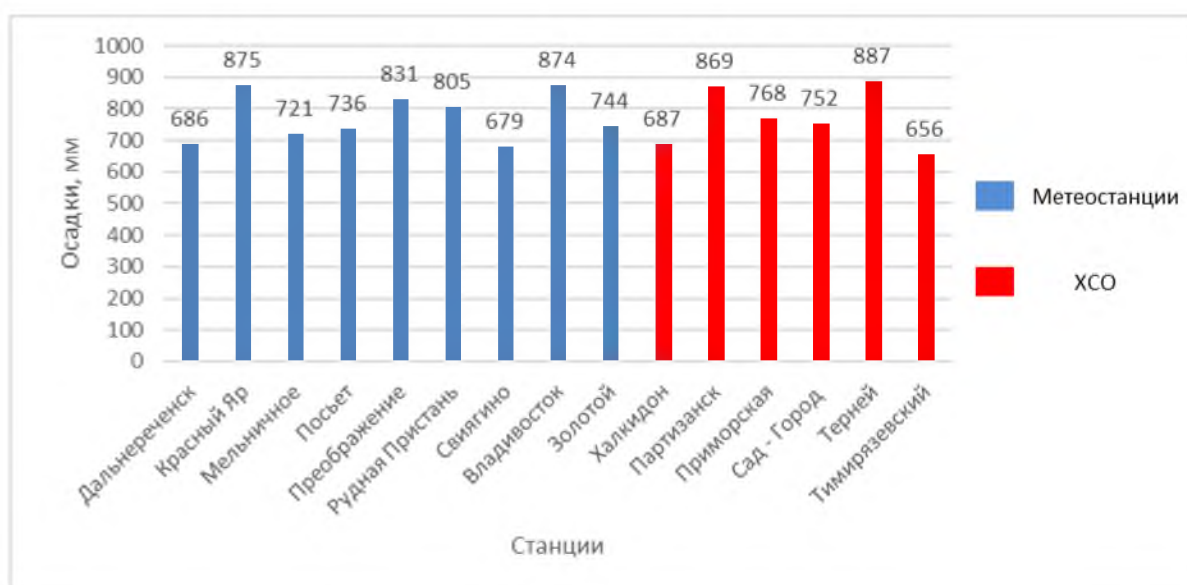


Рисунок 12. Среднегодовое количество осадков для метеостанций и станций ХСО Приморского края.

Наименьшее количество осадков (656 – 687 мм) наблюдается в западных районах, а также в пунктах, которые находятся на наветренной стороне от Сихотэ – Алиня (ст. Тимирязевский, Свягино, Халкидон, Дальнереченск). Причинами низких значений выпадения атмосферных осадков является географическое положения этих пунктов, а также особенности атмосферной циркуляции. Большая часть осадков формируется в осенний период, в остальное же время в этих районах выпадает меньшее количество осадков (под влиянием Азиатского минимума и направлении ветров).

В целом, по количеству выпавших осадков на станциях химического

содержания осадков и на метеостанциях региона можно сказать, что характер выпадения осадков однороден и позволяет использовать информацию об осадках для последующего моделирования концентраций на метеостанции региона.

На территории Иркутской области по результатам определения среднего количество осадков за период 2003 – 2020 выпадает от 183 мм до 1357 мм осадков (рисунок 13). Такой огромный разброс связан как с физико – географическим положением определенных пунктов, так и с атмосферной циркуляцией.

Наибольшее количество осадков наблюдается в таких пунктах как, Хамар – Дабан и Байкальск (1357 и 817 мм соответственно). По сумме осадков ст. Хамар – Дабан сопоставима со станциями Иркутск, Братск и Саянск вместе взятых.

За счет западного переноса значительное количество влаги поступает в южную часть Иркутской области по Иркутско-Черемховской равнине через исток р. Ангары и по относительно невысокому Олхинскому плато. Достигая юго-восточного побережья и наветренных склонов Хамар-Дабана, она конденсируется и выпадает в виде обильных осадков, достигающих максимальных значений для всей территории.

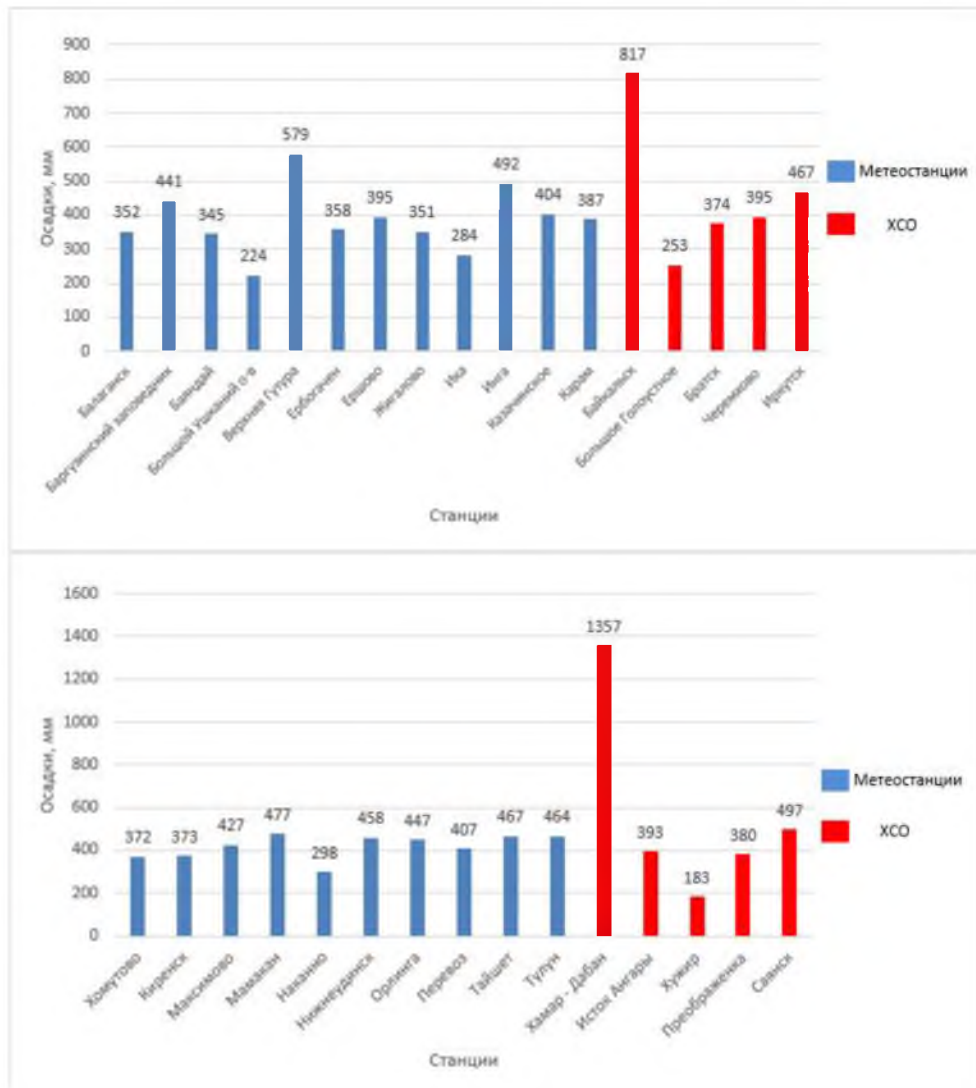


Рисунок 13. Среднегодовое количество осадков для метеостанций и станций ХСО Иркутской области.

Наименьшее количество осадков отмечено на ст.Хужир и Большой Ушканый остров (183 и 224 мм в год соответственно). Причины низких значений обусловлено орографией территории и условиями циркуляции.

При прохождении западных воздушных масс через Приморский и Байкальский хребты значительная часть влаги конденсируется на западных наветренных склонах. Далее, воздушные массы, скатываясь с гор вдоль подветренных восточных склонов, подвергаются феновому эффекту, т. е. значительно ускоряются и нагреваются. При этом дефицит влажности воздуха увеличивается, относительная влажность падает, и в результате на северо-западном побережье озера на акватории и островах выпадает очень мало осадков. Для

сравнения, на западных частях Иркутской области (Нижнеудинск, Верхняя Гутара, Тайшет, Максимово), выпадает на 100 – 200 мм больше.

Далее, по мере движения на восток над водной поверхностью Байкала, воздушные массы вновь охлаждаются, дефицит влажности снижается и в результате на восточном побережье Байкала количество выпавших осадков возрастает (Баргузинский заповедник – 441 мм, ст. Мамакан – 477 мм).

Общее распределение среднегодовых осадков на станциях ХСО не выбивается из распределения осадков на метеостанциях региона, что в случае с Приморским краем позволяет использовать экстраполяцию концентраций веществ на всю территорию Иркутской области.

В Забайкальском крае, который находится на юге – востоке от оз. Байкал за осредненный период 2003 – 2020 гг. выпадает от 231 мм (ст. Улан - Удэ) до 504 мм (ст. Средняя Олекма). Наибольшее количество осадков характерно для северо – восточной части региона, в частности для ст. Средняя Олекма, Могоча, Усть – Каренга и Таксимо (от 432 до 504 мм). Наименьшее количество осадков зафиксировано в Улан – Удэ и Борзя (231 и 286 мм соответственно). Причинами такого колебания можно объяснить сложной атмосферной циркуляцией и орографией территории (рисунок 14).

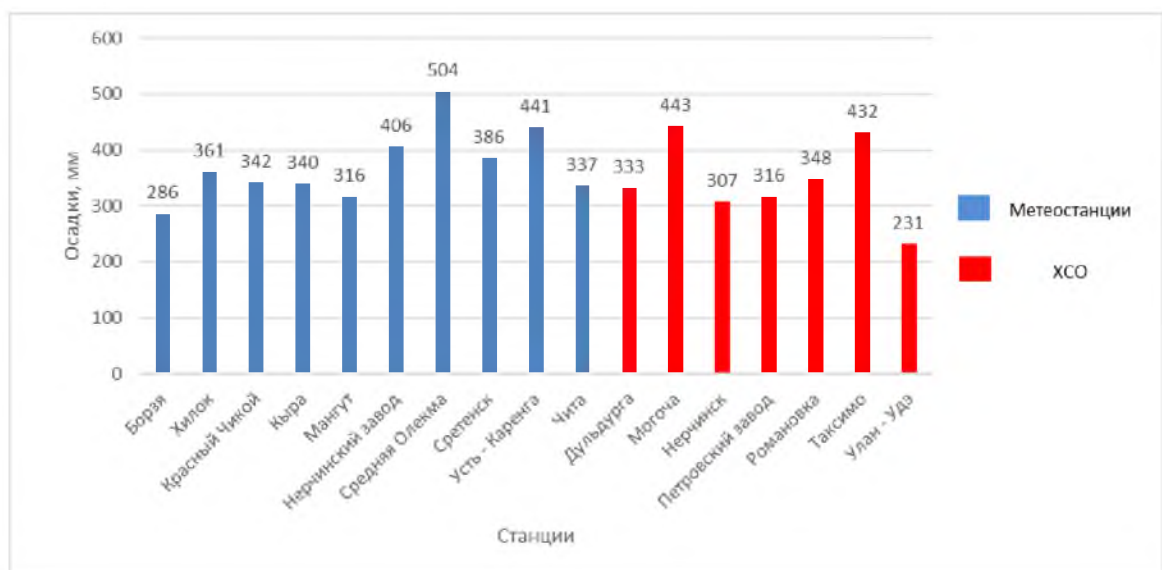


Рисунок 14. Среднегодовое количество осадков для метеостанций и станций ХСО Забайкальского края.

Если сравнить данные по осадкам между сетью ХСО и метеостанциями региона, можно заметить, что они однородны (Могоча – Средняя Олекма, Таксимо – Усть – Каренга, Чита - Дульбурга), что позволяет использовать информацию от метеостанций при моделировании концентраций и выпадений загрязняющих веществ с атмосферными осадками на всей территории исследования.

4.1. Межгодовая динамика концентраций сульфатов и нитратов на исследуемых территориях за период с 2003 по 2020 гг.

Перед тем, как выполнять экстраполяцию данных на метеостанции с использованием геоинформационной системы, был проведен анализ содержания концентраций сульфатов и нитратов в атмосферных осадках регионов и определены пространственно – временные причины изменения содержания.

В Приморском крае наиболее высокие концентрации сульфатов наблюдаются на станции Халкидон и Сад – Город (таблица 2). Стоит отметить, что эти станции находятся на расстоянии 111 км, но при этом происхождение загрязняющих веществ в осадках будет разным. Так для станции Сад – Город причиной повышенного содержания сульфатов в осадках является трансграничный перенос атмосферных осадков со стороны Китая и Корейского п-ова в которых в достаточно больших количествах содержатся вещества SO_4 и NO_3 в результате выбросов в атмосферу от промышленных предприятий Китая. А для Халкидона повышенное содержание сульфатов можно объяснить локальным загрязнением от промышленных предприятий, в частности, не далеко от Халкидона в городе Спасск – Дальний располагается цементный завод [134,135,136]

Годовые величины средних концентрации соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Приморского края за 2003–2018 гг.

	Халкидон	Партизанск	Приморская	Сад - Город	Терней	Тимирязевский
Год	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)
2003	5,99	3,94	4,18	5,43	2,45	5,14
2004	5,26	6,77	3,34	6,62	2,27	4,15
2005	5,22	2,61	3,67	4,11	2,93	4,34
2006	4,66	3,67	4,42	6	2,48	3,59
2007	3,34	2,42	2,96	3,87	3,01	3,64
2008	5,27	2,8	3,91	3,37	1,8	3,93
2009	3,39	2,78	2,88	4,47	1,72	2,84
2010	3,18	3,25	4,73	3,94	1,91	3,89
2011	4,38	2,07	2,42	2,24	1,26	2,37
2012	3,78	3,18	3,32	3,86	1,21	3,45
2013	4,77	3,56	4,93	3,87	2,54	3,92
2014	6,61	3,66	3,45	4,16	2,81	2,77
2015	3,65	2,57	2,79	3,66	1,75	3,78
2016	2,54	3,56	3,3	2,65	2,27	2,92
2017	2,87	3,58	3,7	3,22	1,7	2,23
2018	3,12	2,88	3,88	3,07	2,05	2,24
2019	2,18	1,77	1,95	2,16	1,69	1,63
2020	2,99	3,27	3,03	2,71	2,79	3,91
Среднее	4,07	3,24	3,49	3,86	2,15	3,37

Тем не менее, для Халкидона и Сад – Города высокие концентрации наблюдались в первой половине рассматриваемого периода. Начиная с 2011 значение концентраций на станции Халкидон не превышали 5 мг/л, кроме 2014 года, а с 2015 года – не более 3 мг/л. Аналогично и в районе Сад – Город. Если с 2003 по 2010 гг. концентрации в осадках редко опускалась ниже 4 мг/л, то во второй половине (с 2011 по 2018 год), мы видим устойчивое снижение концентраций сульфатов в осадках. Так в 2018 году было обнаружено 3,07 мг/л, что вдвое ниже, чем 2004 и 2006 гг. На станции Халкидон, также наблюдается тенденция к снижению концентраций. В 2018 году они составили 3,12 мг/л, что также более чем в 2 раза ниже, чем 2014 году. Такое снижение стало возможным благодаря усовершенствованию технологий и модернизация предприятий, выбрасывающих в атмосферу SO_4 и NO_3 .

Похожая ситуация относится и к станции Тимирязевский. В начале периода наблюдались максимальные концентрации сульфатов (5,14 мг/л), однако с 2004 наблюдается снижение концентраций. С 2006 по 2015 гг. концентрации варьировались от 2,4 до 3,9. Начиная с 2016 года концентрации не превышали 3 мг/л, за исключением 2020 года, когда концентрация составила 3,91 мг/л, а годом ранее на станции был зафиксирован минимум – 1,63 мг/л, что ниже, чем среднегодовая концентрация на станции Терней (рисунок 15). Причины уверенного снижения сульфатов заключается в постепенном отказе от использования угля в энергосфере и переход на газ, а также технологическая модернизация существующих предприятий.

Станция Партизанск и Приморская имеют схожую среднегодовую концентрацию сульфатов в осадках (3,2 и 3,5 мг/л). Более того, в 8 годах из 18 наблюдались минимальные различия в концентрациях сульфатов – 0,1 ... 0,2 мг/л (2003, 2009, 2012, 2014 – 2015, 2017, 2019 - 2020 гг.). По линии тренда содержания сульфатов в атмосферных осадках, эти станции в периоде с 2003 по 2020 гг. не сильно менялись, однако уравнение тренда показывает, что на этих станциях наблюдается снижение содержания сульфатов в осадках $-0,071x + 3,9154$ для Партизанска и $-0,0475x + 3,9434$ для Приморской). Это говорит, о том, что для этих двух станций будут влиять одни и те же факторы.

Наименьшие концентрации сульфатов отмечается на фоновой станции Терней (2,2 мг/л), поскольку этот пункт находится на удалении от крупных городов и минимально подвержен влиянию антропогенного загрязнения. Так же низкие значения концентраций можно объяснить, тем, что атмосферные осадки в этом месте имеют морскую составляющую, в которой сульфаты имеют естественное происхождение (частицы морской соли).



Рисунок 15. Изменения средневзвешенных годовых концентраций (мг/л) соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Приморского края за 2003–2018 гг.

Тем не менее в регионе наблюдается определённые интервалы. Так, в 2003 - 2007 гг. наблюдались повышенные значения концентраций (до 3,01 мг/л) в сравнении с период 2008 – 2012 (1,2 – 1,7 мг/л). В 2013 и 2014 гг. концентрации вновь повысились, и варьировались с 2015 по 2018 гг. в диапазоне от 1,7 до 2,3 мг/л.

Что же касается концентраций нитратов в атмосферных осадках Приморского края, то изменения концентраций на станциях происходит без сильных изменений, как в случае с сульфатами, поскольку изменение нитратов в атмосферных осадках носят общерегиональный характер.

Большинство станций региона (Тимирязевский, Приморская, Халкидон и Сад - Город) по осредненным данным концентраций нитратов характеризуются на уровне 1,8 – 1,9 мг/л (таблица 3).

Для этих станций характерно постепенно повышение концентраций нитратов в первой половине исследуемого периода (2003 - 2010), а также сильные колебания концентраций от года к году во второй половине (2011 – 2020 гг.)

Годовые величины средних концентрации соединений азота в атмосферных осадках на станциях ХСО Приморского края за 2003–2018 гг..

	Халкидон	Партизанск	Приморская	Сад - Город	Терней	Тимирязевский
Год	нитраты, мг/л	нитраты, мг/л	нитраты, мг/л	нитраты, мг/л	нитраты, мг/л	нитраты, мг/л
2003	0,79	0,93	0,96	1,27	0,81	1,27
2004	1,51	1,35	1,31	2,06	0,55	1,3
2005	1,31	0,87	1,35	1,55	1,19	1,35
2006	2,44	1,24	1,82	2,6	0,9	1,83
2007	1,59	1,02	1,19	1,46	0,91	1,66
2008	2,32	0,9	2,05	1,92	0,69	1,93
2009	1,83	1,04	1,61	1,58	0,58	1,83
2010	1,53	1,63	1,87	1,78	0,86	1,54
2011	3,16	1,74	3,51	3,13	1,82	2,65
2012	2,27	1,18	2,54	1,69	0,81	1,99
2013	3,54	1,95	2,81	1,43	0,71	2,22
2014	0,78	0,47	0,55	0,85	0,5	1,2
2015	1,8	0,88	1,87	1,37	0,47	2,13
2016	1,27	2,6	1,81	1,69	1,48	2,7
2017	3,22	2,26	2,23	2,47	2,27	3,18
2018	1,69	1,58	1,77	1,68	1,39	1,67
2019	1,7	1,83	1,53	2,66	1,6	1,87
2020	2,23	2,18	1,19	2,25	1,82	2,49
Среднее	1,94	1,43	1,78	1,86	1,08	1,93

Если в 2003 году их значение составляли 0,7 – 0,9 мг/л, кроме Тимирязевской и Сад - Города – 1,27, то уже к 2011 году значение концентраций в осадках увеличилось до 3,1 – 3,5 мг/л, на ст. Тимирязевский – 2,65 мг/л. В 2014 году произошло резкое снижение концентраций в регионе, вследствие особенностей атмосферной циркуляции. Однако с 2015 года и до 2017 наблюдалось постепенный рост, который в 2018 году ознаменовалось снижением уровня концентраций (на всех станциях региона значение меньше 2 мг/л). В 2019 – 2020 концентрация нитратов вновь стали расти.

Относительно этих станций, концентрации нитратов в осадках ст. Партизанск ниже (1,4 мг/л за осредненный период). В начальном периоде (2003 – 2009 гг) концентрации варьировались в пределах 0,9 – 1,2 мг/л. характеризовался низкими значениями (0,8 – 1,1 мг/л). С 2010 года значения повысились и до 2011

года достигали 1,6 -1,7 мг/л. С 2011 года из всех станций наблюдений только в Партизанске произошло незначительное повышение нитратов (на 0,1 мг/л). Также в Партизанске наблюдались наименьшие значения нитратов, во время резкого снижения общерегионального уровня в 2014 г. (0,47 мг/л). Начиная с 2015 года, как и для большинства станций Приморского края, в Партизанске был зафиксирован рост концентраций нитратов в атмосферных осадках с пиком в 2016 году (2,6 мг/л). Однако после этого вновь было снижение концентраций до 1,58 мг/л в 2018 году (рисунок 16).



Рисунок 16. Изменения средневзвешенных годовых концентраций (мг/л) соединений нитратов в атмосферных осадках на станциях ХСО Приморского края за 2003–2018 гг.

Минимальные среднегодовые значения нитратов (1,1 мг/л) зафиксированы на прибрежной станции восточной части Приморского края – Терней. Если остальные 5 станций, которые располагаются в городской черте и имеют скачкообразный характер концентрации нитратов в осадках, то на станции Терней с 2003 по 2015 гг. изменения концентраций происходило относительно плавно в пределах 0,5 – 1,6 мг/л, кроме 2011 года, когда значение повысилось до 1,8 мг/л. Начиная с 2016 года, концентрации в осадках выросли, но также продолжали оставаться ниже уровня станций городской черты, что объясняется наличием нитратов естественного происхождения от осадков приходящих с моря.

Территория Иркутской области крайне неоднородна, как по орографии, так и по наличию промышленных предприятий. Это находит отражение в концентрациях сульфатов и их суммарному выпадению.

Содержание концентраций в осадках Иркутской области находится в широком диапазоне, от 1,49 мг/л на станции Саянск, до 8,63 – 9,28 мг/л на станциях Большое Голоустное и Черемхово.

Рассмотрим станции с максимальным уровнем концентрации сульфатов. Большое Голоустное, которое располагается к юго – западу от оз. Байкал имеет концентрации сульфатов в среднем 8,63 мг/л (таблица 4). Наибольшее значение концентраций наблюдалось в 2011 г. – 10,57 мг/л, в 2012 г. – 12,75 мг/л и в 2015 году – 14,87 мг/л. Наименьшее концентрация сульфатов была зафиксирована в 2016 году – 5,90 мг/л. В характере межгодовой динамики концентрации сульфатов в осадках, можно выделить два периода. С начала работы станции в 2010 году и до 2016 года характер концентраций сульфатов в осадках носил скачкообразный характер, за период с 2010 по 2012 концентрация резко выросла с 2,86 до 12,75 мг/л, и к 2013 году также резко снизилась до 6,47 мг/л, но к 2015 году достигла пика в 14,87 мг/л, после которого было очередное снижение до 5,9 мг/л. Второй период берет начало с 2016 года и до 2020. Это время характеризуется постепенным повышением сульфатов с 5,9 мг/л до 8,65 мг/л к 2020 году. Среди причин высоких концентраций по сравнению с другими станциями можно выделить следующее: перенос воздушных масс с промышленных комплексов Приангарья, влияния автомобильного транспорта и применение угля в энергетике.

Годовые величины средних концентрации соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Иркутской области за 2003–2018 гг.

	Байкальск	Большое Голоустное	Братск	Хамар - Дабан	Черемхово	Иркутск	Исток Ангары	Хужир	Преображенка	Саянск
Год	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)
2003			1,2	1,66	10,69	2,43		3,65	5,73	1,16
2004			1,85	1,73	14,5	2,25		1,15	5,37	0,75
2005			1,96	2,28	11,32	2,13		0,9	2,79	1,14
2006			2,69	1,55	13,17	2,53		1,15	5,85	1,3
2007			4,37	2,77	7,5	3,87		1,17	3,93	1,87
2008	13,85		2,31	3,25	10,99	2,79	3,17	1,56	5,08	1,3
2009	1,07		2,25	2,24	7,1	3,44	4,01	1,95	6,22	1,32
2010	5,69	2,86	2,15	3,17	7,91	3,63	4,53	2,06	6,78	1,23
2011	7,07	10,57	5,88	2,64	14,09	4,07	5,04	2,95	4,88	1,24
2012	4,4	12,75	3,09	3,22	9,14	4,27	5,65	1,92	2,52	1,54
2013	3,83	6,47	4,56	2,67	13,93	5,08	8,22	1,06	2,79	2,13
2014	2,65	9,2	3,31	2,31	9,64	5,71	13,3	1,35	8,14	4,02
2015	2,44	14,87	4,25	2,81	15	5,41	8,7	2,69	2,79	1,41
2016	1,67	5,9	3,27	2,75	5,91	2,4	8,22	1,89	3,61	1,17
2017	2,82	7,01	2,15	2,42	4,7	2,88	5,21	1,2	2,65	1,45
2018	1,5	8,07	1,98	1,82	4,58	2,76	5,34	0,95	2,51	1,05
2019	1,53	8,65	1,75	1,77	2,9	3,84	5,33	1,09	2,62	1,31
2020	3,32	8,56	2,6	1,85	4	2,97	5,84	1,29	1,86	1,44
Среднее	3,99	8,63	2,87	2,38	9,28	3,47	6,35	1,67	4,23	1,49

Район пункта Черемхово находится на первом месте по концентрациям сульфатов в атмосферных осадках. Среднее значение составляет 9,28 мг/л. Максимальные концентрации сульфатов наблюдались в периоде с 2003 по 2015 гг. (13,17 мг/л – в 2006 г., 14,09 мг/л – в 2011 г., 15,00 мг/л в 2015 г.). Из этих 13 лет – 8 лет наблюдались концентрации выше 10 мг/л. Период с низкими значениями характерен для периода с 2016 года – от 4,5 до 5,91 мг/л. Минимум сульфатов приходится на 2019 год – 2,90 мг/л. Территория города Черемхово располагается в низине, что влияет на накопление загрязняющих элементов в воздухе, и сказывается на концентрациях в осадках. Помимо этого, регион является крупным центром Сибири по добыче угля. Среди остальных причин повышенных концентраций рассматривают наличие большого количества малых котельных и использования угля в них, а также метеорологические факторы (высокая относительная влажность).

Еще одной станцией, которая входит в состав наиболее загрязненных по сульфатам является Исток Ангары. За осредненный период с 2003 по 2020 гг. концентрация сульфатов в атмосферных осадках достигает 6,35 мг/л. Для сравнения, на остальных станциях региона, значения варьируются в пределах 3 – 5 мг/л. Максимальные значения концентраций на ст. Исток Ангары относятся к 2014 году, когда в осадках было обнаружено 13,3 мг/л (рисунок 17). Минимум концентраций характерен для первой половины периода (2008 - 2012). Так в 2008 году на станции было зафиксировано 3,17 мг/л.

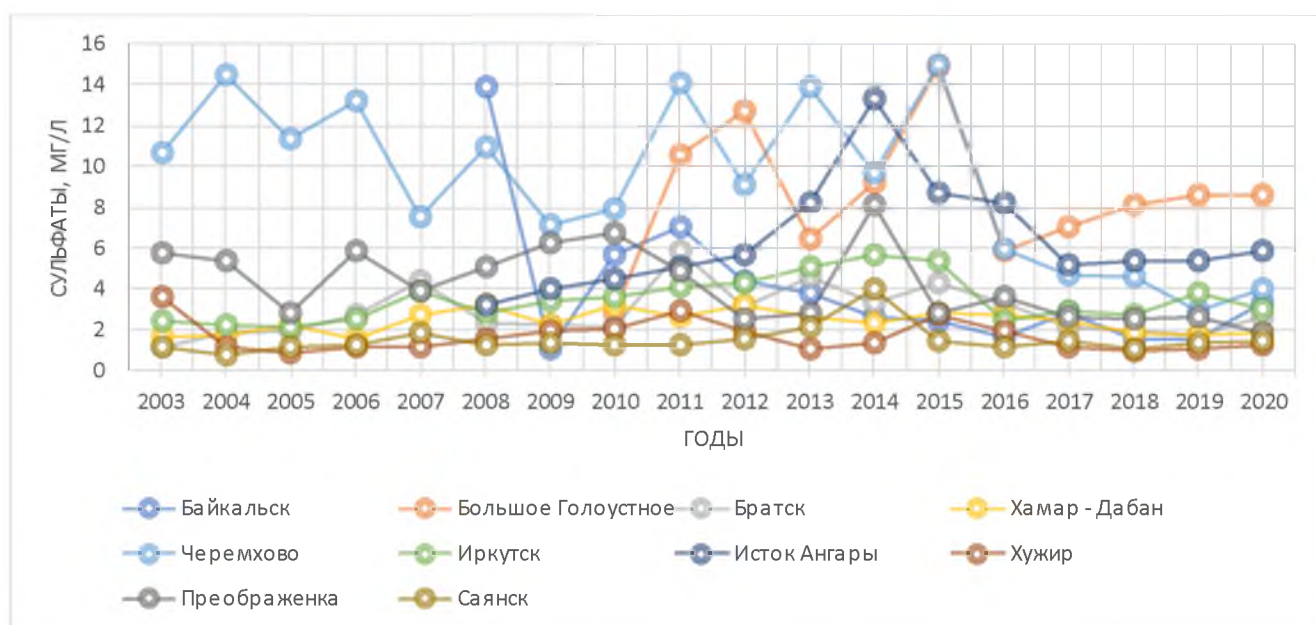


Рисунок 17. Изменения средневзвешенных годовых концентраций (мг/л) соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Иркутской области за 2003–2018 гг.

Как показывает линия тренда, концентрация сульфатов на станции Исток Ангары растет. Если в первые годы работы станции (2008 – 2010 гг.) концентрация сульфатов не превышали 5 мг/л, то в периоде с 2013 по 2016 гг., концентрации были на уровне 8 – 13 мг/л, хотя в 2018 - 2020 гг., концентрации вернулись к значениям 2011-2012 гг. Как и в случае со станцией Большое Голоустное, именно сульфаты являются основным загрязнителем в этом поселке, по причине, выбросов автотранспорта во время туристического сезона, а также перенос воздушных масс с промышленных районов Приангарья.

Наименьшая концентрация сульфатов в осадках Иркутской области наблюдается в районе острова Ольхон (ст. Хужир). Среднегодовое значение сульфатов составляет 1,67 мг/л. В большинстве случаев (10 лет из 18) концентрации сульфатов на станции Хужир не превышали среднегодовой уровень. Если рассматривать межгодовую динамику сульфатов, то пик концентраций приходится на 2003 год (3,65 мг/л), однако в течении следующих лет концентрация не превышала 3 мг/л. С 2004 по 2011 гг. наблюдалось повышение концентраций от года к году (от 0,9 до 2,95 мг/л), что вызвано общим повышением сульфатов в регионе. С 2011 по 2015 район станции характеризовался периодом снижения и роста концентрации в осадках. С 2018 года после 4 лет снижения концентраций наметилась тенденция к увеличению содержания сульфатов в осадках. Однако несмотря на это, линия тренда указывает на снижения концентраций за исследуемый период ($-0,0335x + 1,9838$). Поскольку район острова Ольхон защищен горными вершинами от большого количества осадков и содержания в них загрязняющих веществ, осадки выпадают на западных склонах Приморского и Байкальского хребтов, что оказывает влияние как на сумму осадков, так и на концентрации района.

Концентрации нитратов в Иркутской области не так сильно меняются по годам, как сульфаты. Осредненные данные на большинстве станций находятся в диапазоне от 0,6 до 1,3 мг/л (таблица 5). Только на станции Большое Голоустное среднегодовое значение нитратов составляет 1,81. Пользуясь графиком, можно увидеть, что Большое Голоустное в 2011 – 2013 гг., находилось на первом месте по концентрации нитратов, что вероятно связано с выбросами автотранспорта во время туристического сезона. Однако в остальные годы станция не выбивается из общего распределения.

В административном центре Иркутской области – г. Иркутск, который еще является и крупным промышленным центром концентрация нитратов в осадках меняется каждые 2-3 года (повышение меняется на снижение и обратно). Максимум концентраций характерен для 2015 год - 2,83 мг/л. При этом, в остальные годы концентрация не превышала 2 мг/л. А минимум был зафиксирован

в начале периода (2003 год) и в конце (2020) – 0,86 – 0,87 мг/л.

Таблица 5

Годовые величины средних концентрации соединений азота в атмосферных осадках на станциях ХСО Иркутской области за 2003–2018 гг.

	Байкальск	Большое Голоустное	Братск	Хамар - Дабан	Черемхово	Иркутск	Исток Ангары	Хужир	Преображенка	Саянск
Год	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)
2003			1,27	0,55	0,9	0,87		1,07	0,72	0,67
2004			0,96	0,52	1,03	0,88		0,94	0,66	0,88
2005			0,91	0,69	0,6	1,02		0,43	0,33	0,63
2006			1,09	1,36	1,22	1,7		0,71	0,97	0,53
2007			1,08	0,94	1,14	1,72		0,96	0,7	0,82
2008	0,4		1,06	0,47	0,89	1,24	0,87	0,45	0,82	0,83
2009	0,35		0,78	0,63	1,02	0,92	1,71	0,62	1,11	0,65
2010	2	1,59	0,92	0,65	1,3	1,26	0,99	0,81	1,12	0,67
2011	1,2	1,7	1,47	0,77	1,1	1,03	1,14	0,54	0,93	0,59
2012	0,69	3,85	1,09	0,55	1,05	1,23	1,4	0,83	1,3	0,87
2013	1,96	2,28	1,54	0,54	1,38	1,79	1,77	0,54	1,07	1
2014	0,53	1,75	0,85	0,57	1,36	1,31	1,9	0,39	1,29	0,83
2015	0,63	2,17	0,84	0,48	1,28	2,83	1,36	0,81	0,93	0,85
2016	0,53	1,7	1,08	0,33	0,88	1,31	1,63	0,63	1,17	0,8
2017	0,77	1,43	0,92	0,36	1,29	1,14	1,32	0,39	1,09	0,76
2018	0,74	1,31	1,04	0,65	0,95	0,95	1,63	0,45	1,01	0,65
2019	0,64	1,5	1,11	0,46	0,88	1,23	1,07	0,41	1,3	0,7
2020	0,72	0,59	0,8	0,39	0,76	0,86	0,81	0,38	1,26	0,57
Среднее	0,86	1,81	1,05	0,61	1,06	1,29	1,35	0,63	0,99	0,74

В Иркутске, помимо влияния автотранспорта на выбросы азота, еще одним источником могут служить пылевые частицы почвенного происхождения. Согласно проведенным исследованиям в области загрязнения атмосферы, повышенные концентрации нитратов за счет пыли почвенного происхождения и автотранспорта могут наблюдаться круглогодично, что свидетельствует как об антропогенном, так и о естественном происхождении этих ионов.

За счет высоких концентраций в 2015 году линия тренда направлена на увеличение концентраций нитратов в атмосферных осадках ($0,0095x + 1,2038$), однако если исключить 2015 год из периода наблюдений, то тенденция меняется на противоположное ($-0,0023x + 1,2252$), что делает вывод о том, что не совсем

очевидным является тенденция к повышению концентрации в осадках Иркутска.

Низкие концентрации нитратов содержатся в осадках ст. Хужир и Хамар – Дабан (рисунок 18). Если рассматривать эти станции по выпадению атмосферных осадков, то эти станции совершенно разные. Хамар – Дабан считается наиболее влажным районом Иркутской области, а Хужир и остров Ольхон – наиболее засушливым.



Рисунок 18. Изменения средневзвешенных годовых концентраций (мг/л) соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Иркутской области за 2003–2018 гг.

Однако концентрации нитратов в 10 годах из 18 отличается всего на 0,1 – 0,2 мг/л., что говорит об общерегиональном изменении концентрации нитратов. Также уравнение линии тренда показывает незначительное отклонение между станциями: $y = -0,0221x + 0,816$ для Хамар - Дабана и $y = -0,0259x + 0,8768$ для Хужира, что еще раз подтверждает, то, что нитраты являются скорее естественного происхождения, чем антропогенного.

В Забайкальском крае наблюдается достаточно дифференцированное распределение концентраций сульфатов по городам. По осредненным данным (2003 – 2020 гг.) наиболее высокие концентрации сульфатов относятся к таким городам как Чита и Могоча - 11,77 и 9,40 мг/л соответственно (таблица 6).

Годовые величины средних концентрации соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Забайкальского края за 2003–2018 гг.

	Чита	Дульдурга	Могоча	Нерчинск	Петровский Завод	Романовка	Таксимо	Улан - Удэ
Год	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)	сульфат (мг/л)
2003	10,11	5,4	12,35	3,95	6,03	1,69	4,63	5,12
2004	11,81	2,35	16,51	9,99	3,09	1,35	9,21	4,86
2005	3,9	2,12	14,78	9,2	2,36	1,34	5,04	4,06
2006	12,92	0,96	13,71	12,7	4,22	1,42	4,57	6,58
2007	11,71	4,52	16,38	7,74	4,82	1,49	3,48	4,85
2008	6,26	4,53	6,89	4,19	3,77	1,44	7,79	5,3
2009	4,88	2,45	3,86	4,82	3,22	1,1	7,84	2,37
2010	8,17	1,42	4,87	5,33	2	0,55	3,43	5,73
2011	23,53	3,01	12,59	5,87	2,84	2,04	0,92	6,66
2012	22,07	5,79	15,61	8,16	2,99	2,02	1,02	3,48
2013	24,59	5,43	10,26	5,26	6,32	1,78	1,78	5,59
2014	21,31	2,85	13,97	7,44	6,46	2,28	0,97	3,19
2015	19,11	3,43	10,24	7,73	6,62	1,33	1,46	4,45
2016	9,89	2,37	5,72	3,19	5,62	0,93	2	2,15
2017	9,49	10,31	4,31	3,34	2,58	1,51	1,03	3,44
2018	2,19	1,46	2,93	2,08	1,94	0,87	1,34	2,47
2019	4,78	2,34	1,51	1,76	2,66	0,81	1,1	1,76
2020	5,06	1,64	2,69	1,51	2,24	1,06	0,74	1,60
Среднее	11,77	3,47	9,40	5,79	3,88	1,39	3,24	4,09

Чита опережает Улан – Удэ в 2,8 раза, а фоновую станцию Романовка, которая территориально относится к Республике Бурятия, но в ежегодниках ГГО относится к ФГБУ «Забайкальское УГМС» почти в 8 раз.

Также Чита обгоняет станции Иркутской области и Приморского края по концентрации сульфатов. Наибольшие значения концентраций характерны для 2011 – 2015 с пиком в 2013, когда концентрация достигла 24,59 мг/л. Начиная с 2013 года значения стали активно снижаться и уже к 2018 году достигли 2,19 мг/л, хотя в 2016 и 2017 концентрация все же оставались повышенными (9,89 и 9,49 мг/л соответственно). Причинами столь высоких значений объясняется несколькими факторами. Во – первых город расположен в низине, поэтому ветра здесь дуют нечасто, особенно в зимний период, когда действует азиатский антициклон. Во – вторых большой вклад (до 30 %) в загрязнение вносят частные дома с печенным отоплением. В морозный период дым от сжигания топлива (дрова) поднимается

всего на несколько десятков метров и застаивается. Также среди причин называют работу котельных и влияние автотранспорта. [70]

Станция Могоча имеет схожее распределение концентрации нитратов в осадках. Так в начале исследуемого периода (2003 – 2007) концентрации сульфатов были выше, чем на станции Чита (рисунок 19). В 2004 и 2007 гг. были зафиксированы максимумы за весь период – 16,51 и 16,38 мг/л соответственно. В то время, когда в Чите наблюдались максимальные концентрации в Могоче (2011 - 2014) они были ниже в 1,5 – 2 раза и достигали уровня в 10,26 – 15,61 мг/л. Начиная с 2015 года, концентрация стала снижаться и к 2019 году достигла 1,59 мг/л. Среди причин повышенных концентраций в первую очередь рассматривают влияние промышленных предприятий региона (крупное месторождение угля «Нерчуганское») а также влияние автотранспорта при использовании в горной промышленности. Среди других причин рассматривают лесные пожары в летнее время года и использование печного отопления в жилых домах в холодный период года.

В этих пунктах (Чита и Могоча) наблюдается тенденция к уменьшению концентрации сульфатов в осадках. Наиболее сильно это проявляется в Могоче: $y = -0,6702x + 15,766$, а в Чите меняется не сильно: $y = -0,0493x + 12,234$. Это обуславливает, то, что г. Могоча не располагается в низине и ветра дуют чаще чем в Чите.

Наименьшие концентрации приурочены к территориям, которые находятся далеко от крупных промышленных центров и мало заселены. К такому району относится село Романовка, которое расположено к северо – востоку от Улан – Удэ. Здесь зафиксированы минимальные значения сульфатов среди всех станций региона – 1,39 мг/л.

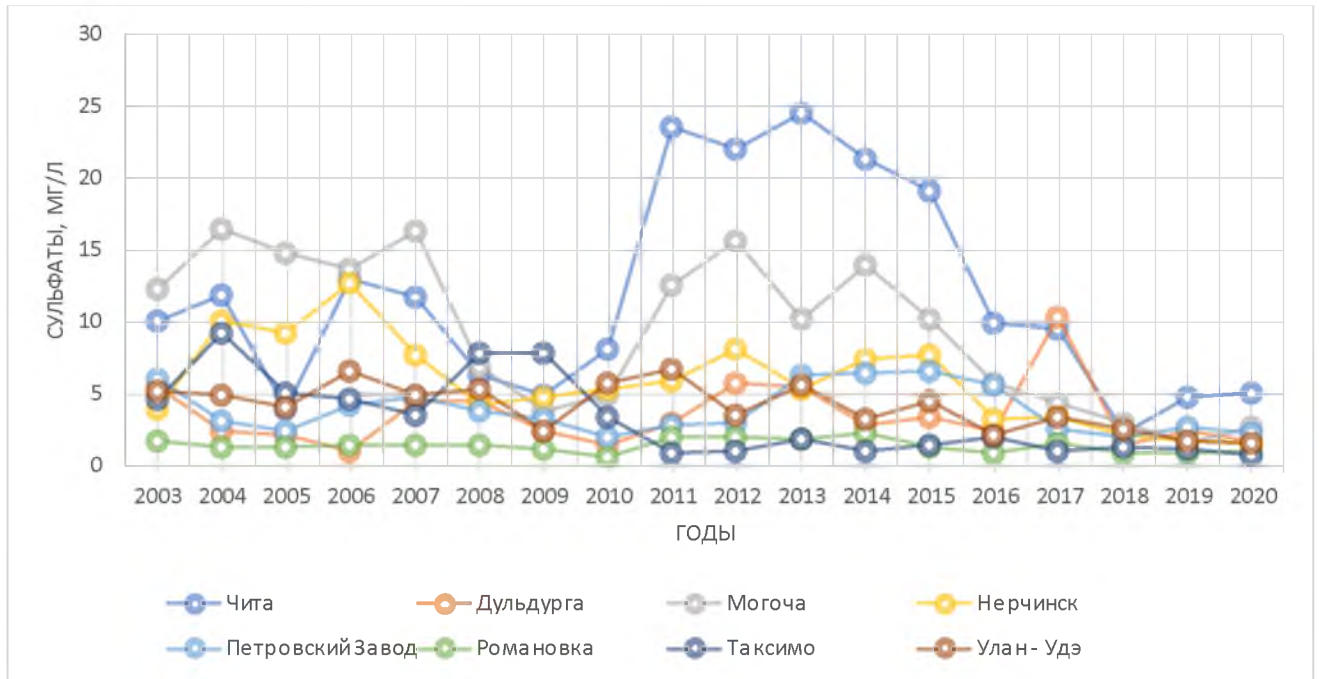


Рисунок 19. Изменения средневзвешенных годовых концентраций (мг/л) соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Забайкальского края за 2003–2018 гг.

Рассматривая динамику по годам в целом, можно сказать, что колебание концентраций в регионе носит незначительный характер. Максимум наблюдался в 2014 году – 2,28 мг/л, а минимум концентрации приходится на 2010 год – 0,55 мг/л. Уравнение линейного тренда показывает, что за исследуемый период 2003 – 2020 гг. происходит снижение концентраций сульфатов в атмосферных осадках ($-0,0208x + 1,5872$).

Концентрация нитратов в атмосферных осадках Забайкальского края меняется в широком диапазоне. От 0,49 – 0,63 на фоновых станциях Таксимо и Романовка до 2,59 – 2,99 мг/л в районе г. Чита и Нерчинск (таблица 7).

Годовые величины средних концентрации соединений азота в атмосферных осадках на станциях ХСО Забайкальского края за 2003–2018 гг.

	Чита	Дульдурга	Могоча	Нерчинск	Петровский Завод	Романовка	Таксимо	Улан - Удэ
Год	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)	нитрат (мг/л)
2003	2,55	1,86	3,64	2,31	1,35	0,52	0,36	2,45
2004	1,81	0,45	1,43	6,06	1,42	0,3	1,08	3,83
2005	1,08	0,63	2,02	1,61	0,46	0,63	0,35	2,18
2006	2,07	0,53	2,1	4,14	0,79	1,28	0,5	3,28
2007	1,94	1,62	0,9	3,06	1,45	1,69	0,61	2,61
2008	2,1	1,58	0,69	2,69	1,48	0,81	0,59	1,95
2009	4,88	0,86	0,55	2,74	1,28	0,28	0,44	0,8
2010	2,21	0,83	1,04	3,5	1,6	0,69	0,48	2,35
2011	1,3	0,67	0,67	1,95	0,85	0,66	0,47	0,67
2012	2,13	2,15	1,47	2,98	1,86	0,38	0,45	1,38
2013	3,81	1,74	1,99	3,4	2,61	0,81	0,45	1,78
2014	3,73	1,62	0,97	1,57	1,63	0,62	0,43	1,83
2015	3,05	0,96	1,52	2,65	1,4	0,61	0,49	2,6
2016	4,34	1,1	0,81	2,47	2,4	0,33	0,58	0,76
2017	7,38	1,21	2,02	3,19	2	0,53	0,3	1,47
2018	1,46	0,95	1,52	1,01	1,26	0,34	0,38	1,2
2019	1,83	1,96	1,09	0,61	1,05	0,36	0,54	1,29
2020	6,13	0,85	1,7	0,74	1,2	0,53	0,29	0,69
Среднее	2,99	1,20	1,45	2,59	1,45	0,63	0,49	1,84

Несмотря на то, что и Чита, и Нерчинск являются городами с повышенным содержанием нитратов, линейный тренд будет иметь разное направление. Так для Читы характерна тенденция к увеличению количества нитратов в атмосферных осадках (уравнение линейного тренда для Читы: $0,1575x + 1,4924$), что справедливо, поскольку в начале периода концентрации находились на уровне 1,5 – 2 мг/л, а к 2017 году достигли значения в 7,38 мг/л, после чего было снижение до 1,5 – 1,8 в 2018 – 2019 гг. В 2020 году вновь наблюдалось повышенное значение в 6,13 мг/л (рисунок 20).

В Нерчинске максимальные концентрации достигали пика в 2004 году – 6,06 мг/л. После 2004 динамика концентраций носила скачкообразный характер. Но рассматривая целиком период можно увидеть снижение концентраций от года к

году. Так в 2019 году был зафиксирован минимум – 0,61 мг/л. Линейный тренд также демонстрирует снижение: $y = -0,1418x + 3,9404$

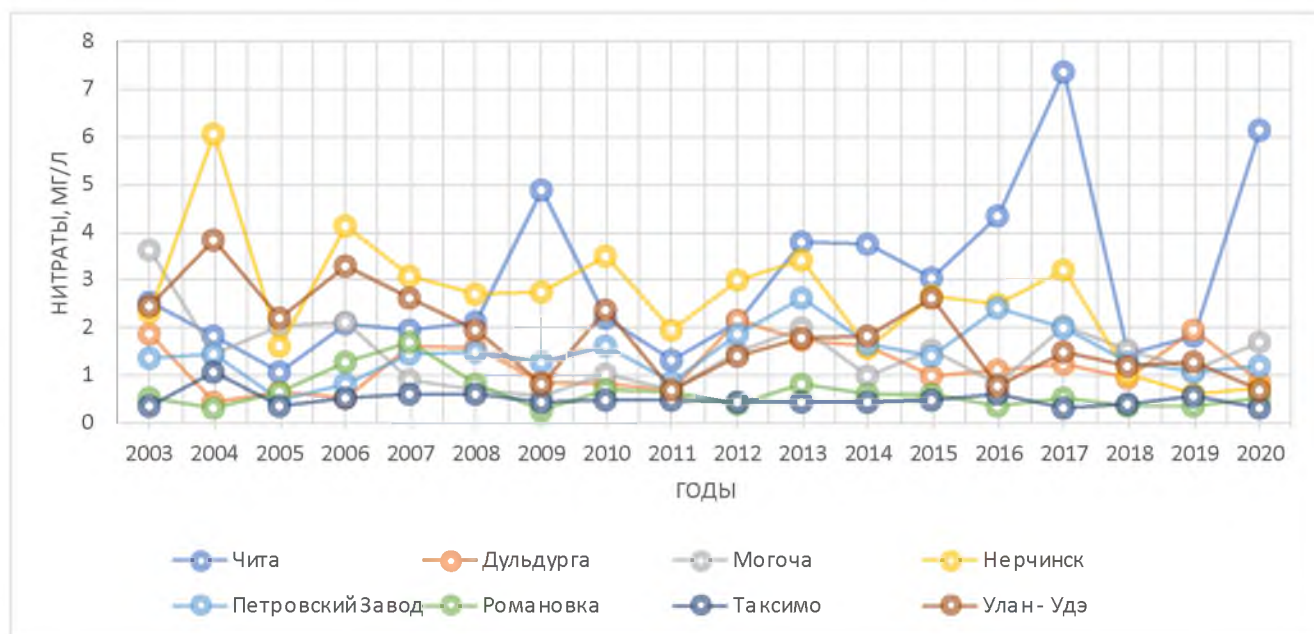


Рисунок 20. Изменения средневзвешенных годовых концентраций (мг/л) соединений серы в атмосферных осадках на станциях ХСО Забайкальского края за 2003–2018 гг.

Минимальная концентрация нитратов приурочена к фоновым районам, таким как Романовка и Таксимо (0,63 и 0,49 мг/л). В 12 лет из 18 разница между концентрациями нитратов на этих 2 станциях достигала всего в 0,1 – 0,2 мг/л. Максимум концентраций наблюдался в Романовке в 2006 – 2007 гг. (1,3 – 1,7 мг/л). Начиная с 2008 года, концентрации на этих станциях не превышали 1,0 мг/л и продолжали снижаться. По сравнению с 2003 – 2008 гг. к 2020 гг. концентрации находились на уровне 0,29 – 0,53 мг/л. Рассматривая уравнение линейного тренда, можно сказать о снижении концентраций нитратов за исследуемый период и схожести станций между собой ($y = -0,0235x + 0,8553$ для станции Романовка и $y = -0,0126x + 0,6082$ для станции Таксимо).

С помощью геоинформационной системы QGIS было выполнено моделирование содержания концентраций сульфатов и нитратов в атмосферных осадках от сети станций ХСО на метеостанции регионов, с целью определения потока выпадения загрязняющих веществ (г/м²). После определения потока

выпадения сульфатов и нитратов на метеостанциях регионов была выполнена интерполяционное моделирование на территории всех рассматриваемых регионов (Приморский край, Иркутская область и Забайкалье). В рамках моделирования выпадения потока на весь регион были получены еще 102 модельные поверхности, которые были сделаны с масштабом сетки в 100 на 100 км. Такой масштаб обусловлен для более удобного расчета выпадения с учетом площади территории. Модельная поверхность и значение выпадений потока сульфатов и нитратов на метеостанциях регионов и сети станций ХСО представлены в приложении.

4.2. Оценка суммарного выпадения соединений серы и азота с атмосферными осадками

В этом разделе рассмотрим результаты потока выпадений сульфатов и нитратов на станциях сети ХСО и метеорологической сети, а также проведем анализ причины динамики.

Общее выпадение на регион было рассчитано на основе двух параметров: площадь одной ячейки (км^2) и поток загрязняющих веществ в этой ячейке (г/м^2). В результате перевода размерностей в конечном счете мы пришли к выпадениям на одну ячейку в тоннах, а затем просуммировали результаты во всех ячейках, которые относятся к территории. Таким образом за каждый год наблюдений были получены данные об общем выпадении на регион.

В свою очередь поток определяется как произведение концентрации на сумму осадков за каждый год. Поэтому помимо антропогенного загрязнения от промышленных предприятий на выпадение будет также влиять и климатические условия местности.

На территории Приморского края за осредненный период с 2003 по 2018 год вместе с атмосферными осадками выпадает 386790 тонн сульфатов (рисунок 21). Если рассматривать выпадение отдельно по годам, то максимальное выпадение сульфатов с атмосферными осадками характерно для 2014 гг. (555660 тонн). Это

связано с высокими значениями потока выпадений сульфатов на метеостанциях Дальнереченск и Свиягино (7,25 и 6,18 г/м²) в связи с трансграничным переносом загрязняющих веществ из Китая. Меньшее количество выпадений зафиксировано в 2017 году. В это время в регионе наблюдалось снижение количества осадков за год и содержание в них концентраций сульфатов. Для сравнения: в 2016 году на юго – западе Приморского края (Владивосток, Посыет) выпало от 1100 до 1200 мм осадков, а в 2017 году вдвое меньше – от 500 до 700 мм. Аналогичная тенденция по осадкам наблюдалась и на станциях ХСО (Терней, Партизанск). Несмотря на то, что максимальные значения выпадения приходятся на вторую половину исследуемого периода, существует тенденция к уменьшению общего выпадения сульфатов на регион. Уравнение линейного тренда составляет: $y = -4655,2x + 431015$ при величине достоверности аппроксимации в 8%.

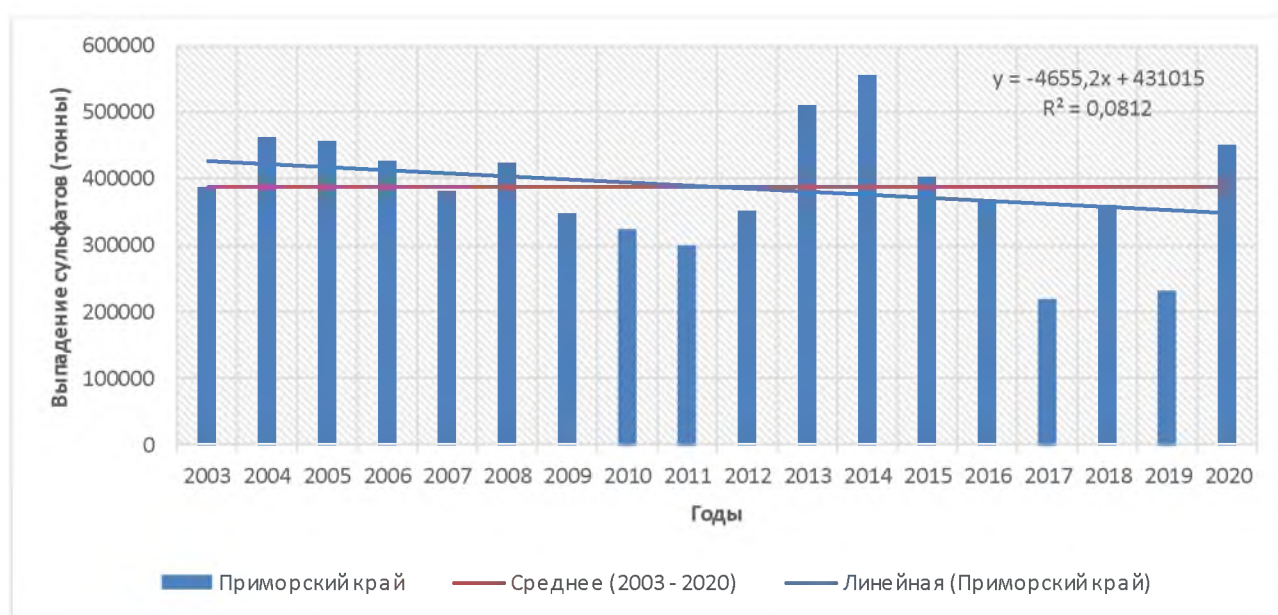


Рисунок 21 Общее выпадение сульфатов с атмосферными осадками на территории Приморского края за период с 2003 по 2020 гг.

При этом из 18 лет наблюдений, 8 лет превышают осредненное значение (в 2004, 2005, 2006, 2008 2013, 2014 и 2020 гг.). В остальные годы значение выпадений было ниже.

Что касается общего выпадения нитратов в регионе, то за осредненный

период 2003 – 2020 выпадает 201227 тонн нитратов (рисунок 22). И на диаграмме можно увидеть два периода. Первый характеризуется не высокими значениями общего выпадения. Так в 2003 году выпало всего 74912 тонн нитратов. Это связано с низкими концентрациями, которые наблюдались на станциях ХСО, а также с невысокими по отношению к другим периодам суммами осадков на метеостанциях региона. Рассматривая общее выпадение за каждый год с 2003 по 2011 и среднее за 2003 – 2020 можно увидеть, что только один год превышает среднее (2006) на 4000 тонн. А второй период (2011 – 2020) характеризуется постепенным повышением общего выпадения нитратов в регионе. Пик выпадения зафиксирован в 2020 г. – 323564 тонн. Основной вклад приходится не на осадки, а на содержание концентраций в осадках, хотя за 18 лет сумма осадков на некоторых станциях увеличилось вдвое. Высокие концентрации нитратов в осадках в особенности на юго – западе (Владивосток, Посыет) региона можно объяснить, как трансграничным поступлением из Китая, так и влиянием автотранспорта в городах, так как Владивосток является крупным городом региона.

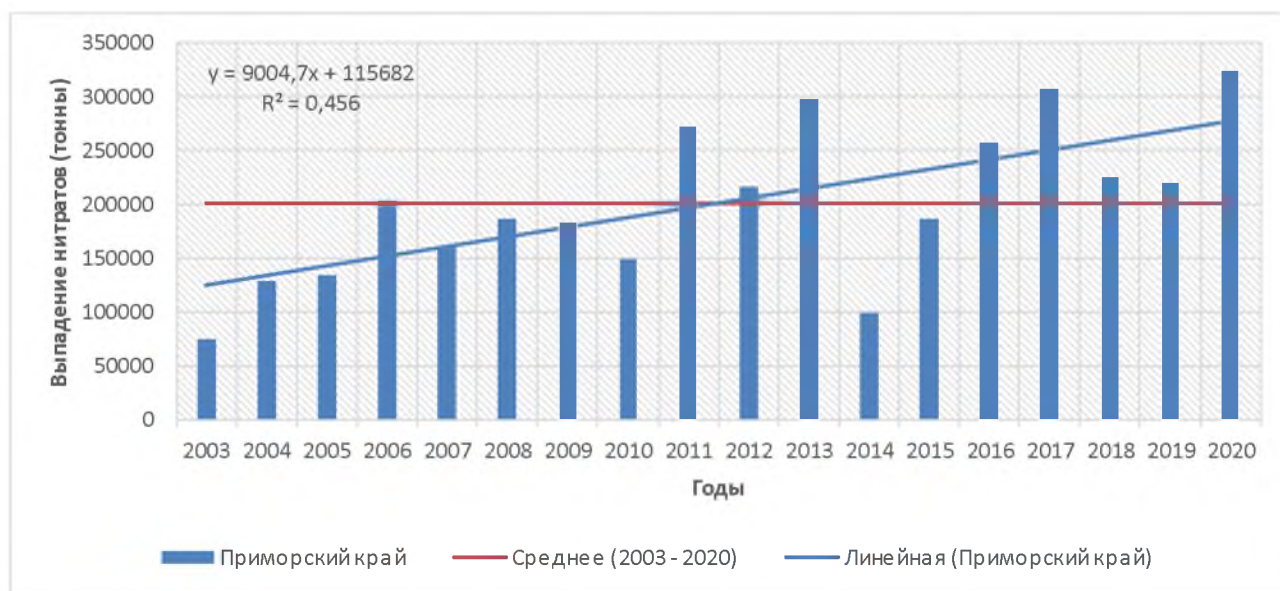


Рисунок 22 Общее выпадение нитратов с атмосферными осадками на территории Приморского края за период с 2003 по 2020 гг.

В периоде с 2011 по 2020 гг. в 80% случаев общее выпадение на регион превышало среднее за 2003 – 2020 гг. Рассматривая весь период можно наблюдать

тенденцию к дальнейшему увеличению общего выпадения нитратов в регионе. Уравнение линейного тренда составляет $y = 9004,7x + 115682$ при величине достоверности аппроксимации в 46%.

На территории Иркутской области в сравнении с Приморским краем выпадает больше сульфатов и нитратов в связи с большей площадью территории. В среднем для региона характерно 1068350 тонн сульфатов (рисунок 23). Максимум выпадения приходится на 2014 год – 1537594 тонн. Это связано со значительным ростом концентраций на севере региона в районе станции ХСО Преображенка (с 2,79 мг/л в 2013 до 8,14 мг/л в 2014), а также в районе станций метеорологической сети Наканно и Ербогачен (9,04 и 8,32 мг/л). Поскольку эти станции находятся на удалении от крупных промышленных центров, вероятно, что в этом году могло быть перенос загрязняющих веществ либо от локальных источников, либо в следствии трансграничного переноса.

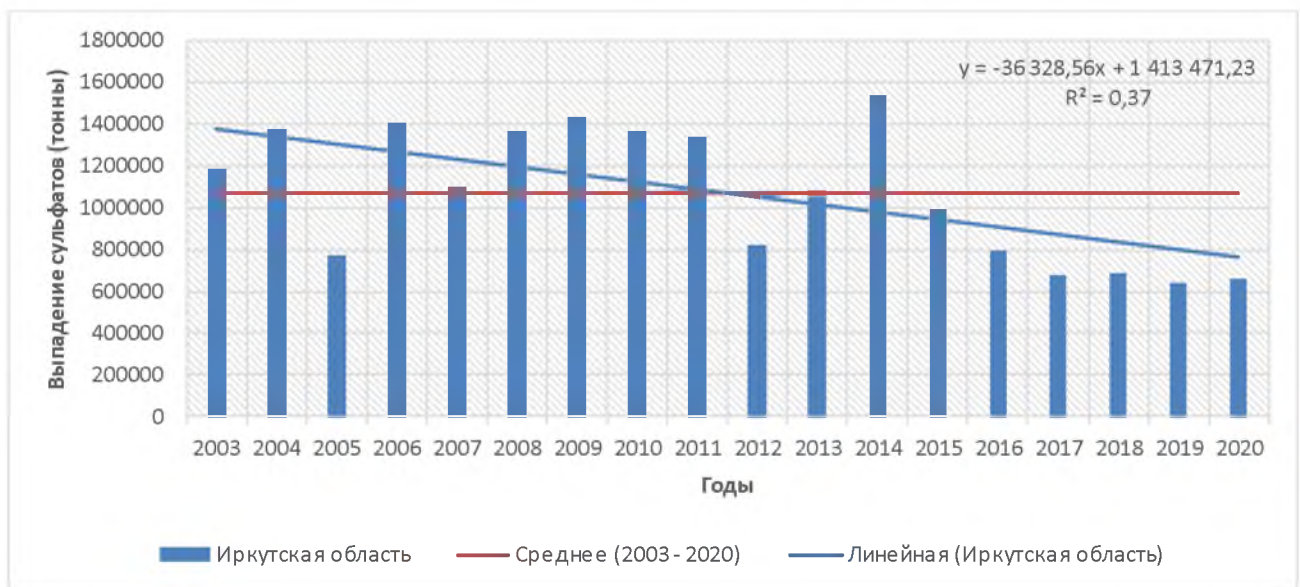


Рисунок 23. Общее выпадение сульфатов с атмосферными осадками на территории Иркутской области за период с 2003 по 2020 гг.

Самое минимальное значение приходится на 2019 год – 640996 тонн. Снижение в почти 2,5 раза по сравнению с 2014 годом объясняется общим снижением концентраций сульфатов в осадках не только на станциях ХСО, но и на метеостанциях. Это связано как с закрытием ряда промышленных предприятий, так

и модернизацией существующих заводов. Также на снижение сульфатов в осадках играет роль переход от использования угля в качестве топлива в пользу газа.

Тем не менее в 2003 – 2014 годах 10 лет из 12 наблюдались значения, которые превышали среднее по региону.

Оценивая линию тренда, можно сказать, что благодаря усилиям, которые предпринимаются в последние несколько лет по снижению выбросов сульфатов в атмосферу линейный график активно снижается ($y = -36328x + 1413471$) при величине достоверности аппроксимации в 37%, что позволяет рассуждать о том, что это тенденция в последующие годы сохранится.

Общее выпадение нитратов в Иркутской области за осредненный период составляет 277707 тонн (рисунок 24). В большинстве случаев нитраты находятся на уровне среднего с небольшими скачками от года к году. Однако наименьшее значение нитратов относится к 2005 году, тогда общее выпадение составила 185631 тонн. Стоит отметить, что в этом году станции Большое Голоустное, Исток Ангары и Байкальск не функционировали, хотя Большое Голоустное является основной станцией, где фиксируются максимальные концентрации (об этом скажем позднее). Низкие значения обусловлены снижением концентраций нитратов в осадках ст. ХСО Черемхово и Хужир, а также на метеостанциях вблизи этих пунктов (Баргузинский заповедник, Большой Ушканий остров и др.). Постепенно с 2005 года общее выпадение стало увеличиваться и достигла пика в 2012 году – 367086 тонн. К тому же в регионе открыли еще три станции наблюдения за химическим составом осадков: Исток Ангары и Байкальск (с 2007 года), Большое Голоустное (с 2010 года). Это позволило оценить степень загрязнения сульфатами и нитратами в южной части Байкала.

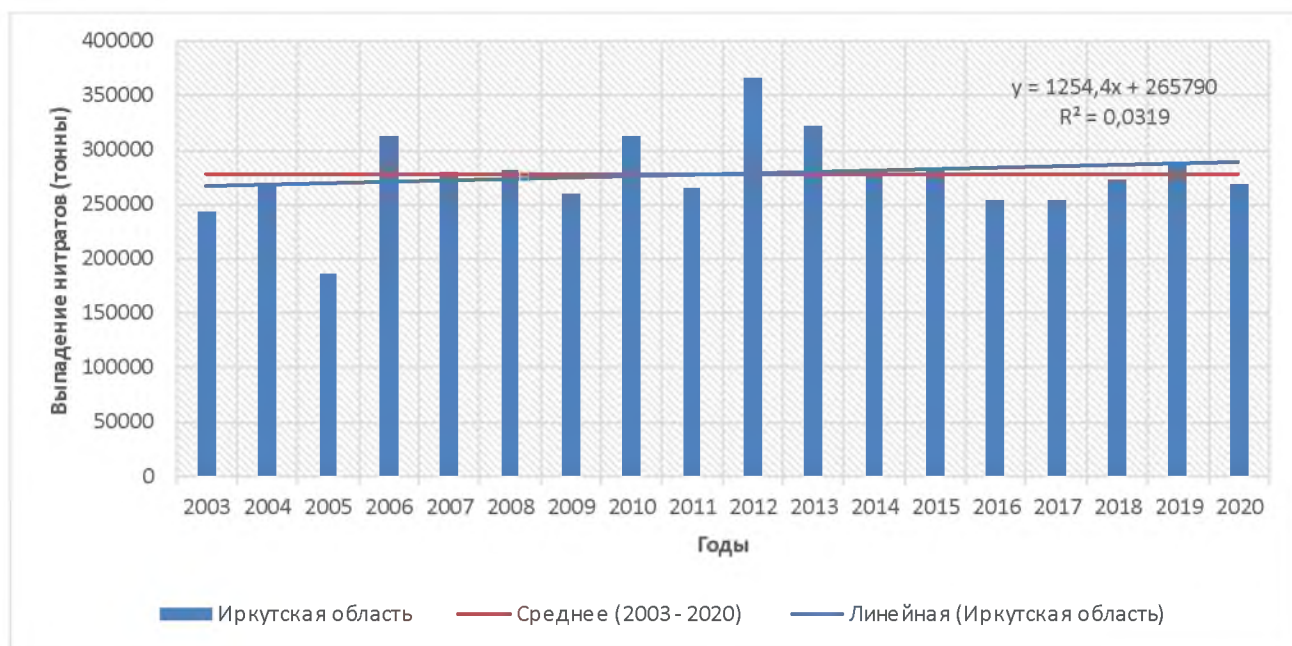


Рисунок 24. Общее выпадение нитратов с атмосферными осадками на территории Иркутской области за период с 2003 по 2020 гг.

Основной вклад в общее выпадение сыграли осадки. По сравнению с 2011 годом, в 2012 году годовая сумма осадков на таких станциях как Хамар – Дабан, Братск и Байкальск увеличилась на 200 – 300 мм. А на станции Большое Голоустное, помимо роста количества осадков, в 2012 году наблюдался пик по концентрациям нитратов – 3,85 мг/л.

Визуально снижается ли общее выпадение нитратов в Иркутской области или наоборот растет сложно сказать. Линейный тренд указывает на незначительное увеличение общего выпадения нитратов в регионе при уравнении $y = 1254,4x + 265790$ и величине достоверности аппроксимации в 3%. Это увеличение скорее всего носит характер в рамках общего потепления климата, нежели чем выбросы с предприятий, поскольку за последнее время увеличилось количество осадков.

В Забайкальском крае выпадение сульфатов и нитратов больше чем в Иркутской области. Так по осредненным данным 2003 – 2020 гг., выпадает 1175786 тонн.

Межгодовая динамика общего выпадения имеет 2 циклических периода. С 2003 по 2010 и с 2011 по 2020 гг. Эти периоды имеют общее составляющее. Сначала наблюдается повышение выпадения с пиком в 2004 году для первого периода, и с

пиком в 2012 году для второй половины рассматриваемого периода. Далее в этих периодах наблюдается снижение общего выпадения с минимумом в 2019 год.

В 2012 году общее выпадение сульфатов составило рекордные 2518088 тонн (рисунок 25). Основной вклад в общее выпадение внесли значительные концентрации сульфатов в Чите и Могоче (22,07 и 15,61 мг/л). Также в 2012 году на этих станциях фиксировалось увеличение годовых сумм осадков на 200 мм от значений 2011 года. За счет высоких концентраций сульфатов на станциях Чита и Могоча, метеорологическая сеть наблюдений также имеет сравнительно высокие значения (от 10 до 14 мг/л). В совокупности это объясняет причину максимального выпадения в регионе. Однако с 2012 года и по 2019 год общее выпадение стремительно сокращалось и уже не превышало 319522 тонн (уменьшение почти в 8 раз). Это связано с мерами, которые предпринимаются в регионе (в частности сокращение добычи угля в Могоче и использование газа в теплоэнергетике и в жилых домах при отоплении).

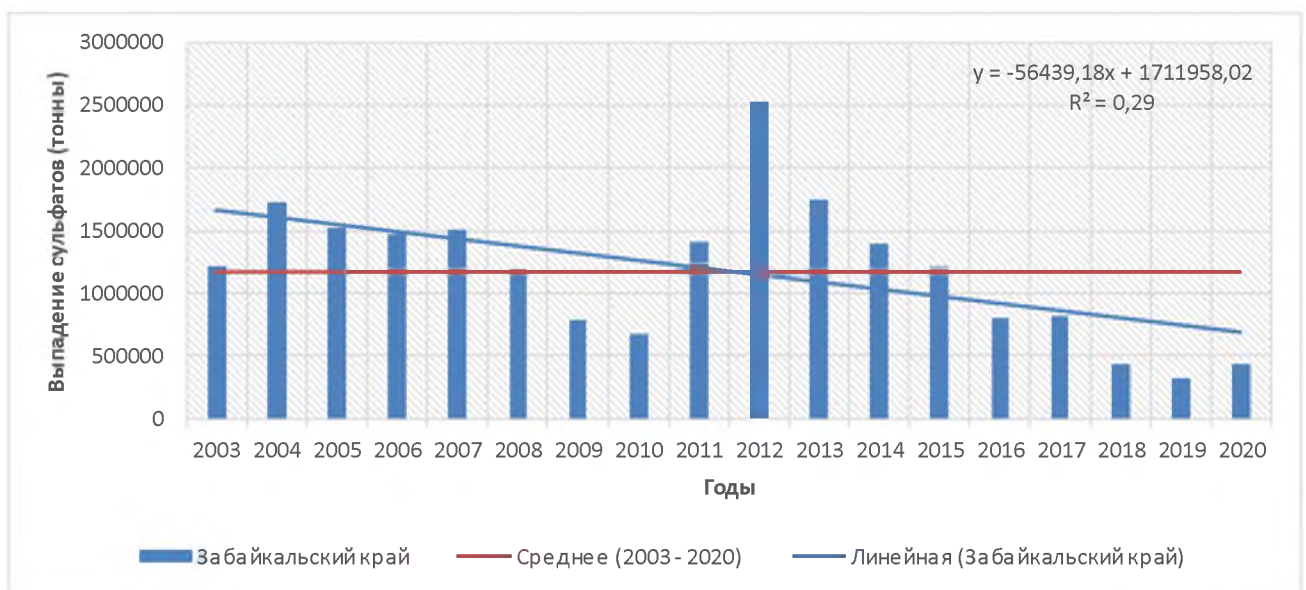


Рисунок 25. Общее выпадение сульфатов с атмосферными осадками на территории Забайкальского края за период с 2003 по 2020 гг.

Из 18 лет наблюдений 10 лет фиксируется с превышением среднего уровня, однако с 2016 года общее выпадение не превышало среднее за период 2003 – 2020, что дает надежду если не на дальнейшее сокращение выбросов сульфатов так на

сохранение того уровня, который наблюдался в 2019 года.

Уравнение линейного тренда подтверждает динамику на сокращение выбросов в атмосферу сульфатов ($y = -56439,18x + 1711958,02$) при величине достоверности аппроксимации в 29%.

Общее выпадение нитратов на территории Забайкальского края по средним значениям за период 2003 – 2020 составляет 274690 тонн (рисунок 26). В начале исследуемого периода общее выпадение снижалось от года к году. Если в 2003 году выпадение нитратов составило 375250 тонн, то уже к 2011 году был достигнут минимум в 143936 тонн. После этого в 2012 и 2013 годах был зафиксирован максимумы выпадения в 412563 – 427166 тонн, однако в 2014 году произошло снижение до 184380 тонн, после 2014 года выпадения вновь росли до очередного пика в 2017 году, а начиная с 2018 года носили скачкообразный характер.

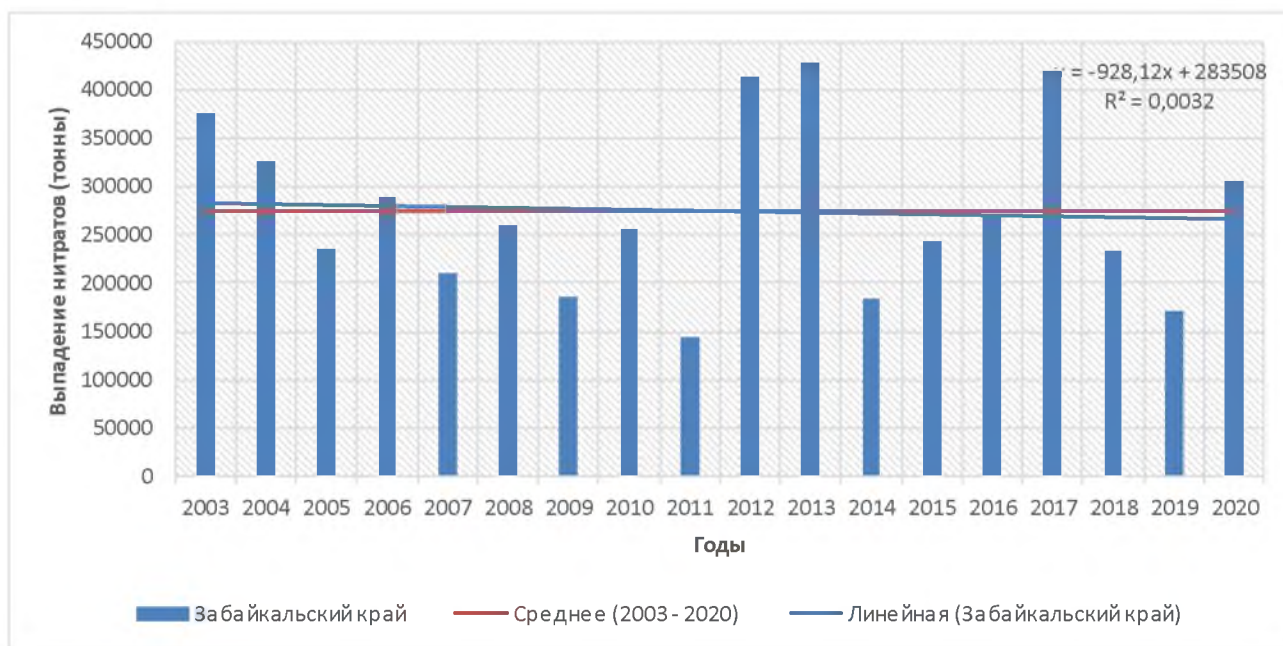


Рисунок 26. Общее выпадение нитратов с атмосферными осадками на территории Забайкальского края за период с 2003 по 2020 гг.

Максимумы, которые наблюдаются в 2012 обусловлены как увеличением годовых сумм осадков (100 – 200 мм больше, чем в 2011 год), так и общим для всех станций ХСО, а после моделирования и для метеостанций увеличением концентраций нитратов в атмосферных осадках региона по сравнению с годом ранее. Такая же тенденция характерна и для 2013 года. Только на фоновой станции

Романовка динамика за эти 2 года оставалась на одном и том же уровне. В 2017 году ситуация повторилась. По сравнению с 2016 годом концентрации в осадках увеличились, но количество осадков напротив сократилось. Здесь основной вклад в общее выпадение нитратов внес г. Чита – 7,38 мг/л.

Минимальное общее выпадение нитратов относится к 2011 году. Это произошло вследствие сильного снижения концентраций нитратов в осадках на станциях ХСО (Чита, Нерчинск, Улан – Удэ), а также на метеостанциях региона, по результатам моделирования в геоинформационной системе QGIS. При этом осадки на большинстве станций также снижались.

В большинстве случаев общее выпадение нитратов не превышало среднерегиональный уровень. Однако за счет 3 максимумов за период с 2012 по 2017 год и увеличением общего выпадения во вне пиковых годов, динамика сокращения не так очевидна. Уравнение линейного тренда составляет $y = -928,12x + 283508$, при величине достоверности аппроксимации в 0,3%. Если убрать из ряда те года, которые имеют максимальные выпадение, уравнение будет следующим: $y = -3936x + 281082$ при уровне достоверности в 12%, а если не брать в расчет 2020 год, то коэффициент возрастет до 30%.

Основные выводы по 4 главе

По анализу среднегодовых сумм осадков от сети станций ХСО и метеорологической сети можно выявить однородность на большинстве станций и позволяет использовать информацию об осадках для последующего моделирования концентраций на метеостанциях исследуемых регионов.

В Приморском крае наиболее высокие концентрации сульфатов наблюдаются на станции Халкидон и Сад – Город, наименьшее в районе ст. Терней. поскольку этот пункт находится на удалении от крупных городов и минимально подвержен влиянию антропогенного загрязнения.

Большинство станций региона (Тимирязевский, Приморская, Халкидон и Сад - Город) по осредненным данным концентраций нитратов характеризуются на уровне 1,8 – 1,9 мг/л

Территория Иркутской области крайне неоднородна, как по орографии, так и по наличию промышленных предприятий. Это находит отражение в концентрациях сульфатов и их суммарному выпадению.

Содержание концентраций в осадках Иркутской области находится в широком диапазоне, от 1,49 мг/л на станции Саянск, до 8,63 – 9,28 мг/л на станциях Большое Голоустное и Черемхово. Среди причин высоких концентраций можно выделить следующее: перенос воздушных масс с промышленных комплексов Приангарья, влияния автомобильного транспорта и применение угля в энергетике.

Наименьшая концентрация сульфатов в осадках Иркутской области наблюдается в районе острова Ольхон (ст. Хужир). Среднегодовое значение сульфатов составляет 1,67 мг/л.

Концентрации нитратов в Иркутской области не так сильно меняются по годам, как сульфаты. Осредненные данные на большинстве станций находятся в диапазоне от 0,6 до 1,3 мг/л

В Забайкальском крае наблюдается достаточно дифференцированное распределение концентраций сульфатов по городам. По осредненным данным

(2003 – 2020 гг.) наиболее высокие концентрации сульфатов относятся к таким городам как Чита и Могоча - 11,77 и 9,40 мг/л соответственно

Наименьшие концентрации приурочены к территориям, которые находятся далеко от крупных промышленных центров и мало заселены. К такому району относится село Романовка, которое расположено к северо – востоку от Улан – Удэ. Здесь зафиксированы минимальные значения сульфатов среди всех станций региона – 1,39 мг/л.

На территории Приморского края за осредненный период с 2003 по 2018 год вместе с атмосферными осадками выпадает 386790 тонн сульфатов. Что касается общего выпадения нитратов в регионе, то за осредненный период 2003 – 2020 выпадает 201227 тонн нитратов

На территории Иркутской области в сравнении с Приморском краем выпадает больше сульфатов и нитратов в связи с большей площадью территории. В среднем для региона характерно 1068350 тонн сульфатов. Общее выпадение нитратов в Иркутской области за осредненный период составляет 277707 тонн.

В Забайкальском крае выпадение сульфатов и нитратов больше чем в Иркутской области. Так по осредненным данным 2003 – 2020 гг., выпадает 1175786 тонн. Общее выпадение нитратов на территории Забайкальского края по средним значениям за период 2003 – 2020 составляет 274690 тонн.

Заключение

В рамках проведенного исследования в соответствии с поставленными задачами было установлено, что Приморский край и южная часть Восточной Сибири (Иркутская область и Забайкальский край), характеризуются наиболее высокими значениями выпадения как сульфатов, так и нитратов в сравнении с другими регионами страны. Из-за географического положения территории помимо локальных выбросов от предприятий промышленности подвергают и дополнительной эмиссии кислотных веществ вследствие трансграничного переноса. Все это позволяет сделать вывод о дальнейшем росте загрязняющих веществ. Однако, те мероприятия, которые проводятся по снижению выбросов в атмосферу вредных веществ оказывают свое влияние.

Так по результатам моделирования общего выпадения сульфатов и нитратов с атмосферными осадками в геоинформационной системе QGIS было показано, что снижение концентраций сульфатов и нитратов в атмосферных осадках на большинстве станций исследуемых регионов приходится на 2011-2020 гг. Это также находит отражение и в общем выпадении загрязняющих. Если в начале исследуемого периода часто наблюдались максимумы, то в конце на некоторых станциях общее выпадение снизилось в 2-3 раза.

В пространственном отношении концентрации загрязняющих веществ и общее выпадение будет зависит от орографии местности, а также от атмосферной циркуляции.

Максимальное выпадение в Забайкалье относится к городу Чита, поскольку данный пункт находится в низине и происходит застаивании воздуха, что неблагоприятно влияет на способности атмосферы к очищению.

В Иркутской области наибольшее выпадение относится к промышленным районам региона (Иркутск, Черемхово). Минимум – для территории острова Ольхон и Баргузинского заповедника.

Приморский край за счет влияния горной системы Сихотэ – Алиня

разделяется на две части. Наиболее загрязнёнными территориями считаются западные районы (Посьет, Владивосток) за счет трансграничного переноса со стороны Китая. Наименьшее выпадение сульфатов и нитратов характерно для восточной части региона (ст. Терней).

Данная методика, которая изложена в исследовании безусловно позволяет оценить содержание концентрации сульфатов и нитратов в атмосферных осадках, а также общее выпадение. С развитием геоинформационных систем возможно в будущем добавят ряд моделей учитывающие орографические особенности региона.

Список сокращений и условных обозначений

EANET – Международная сеть мониторинга выпадения кислотных выпадений в Восточной Азии

EMEP – Международная совместная программа мониторинга и оценки дальних переносов атмосферных загрязняющих веществ в Европе

IDW – Обратное взвешенное расстояние.

pH – Водородный показатель

QGIS – Геоинформационная система Quantum GIS

TIN – Нерегулярная триангуляционная сеть.

TSG – Метод тонких сплайнов

БрАЗ – Братский алюминиевый завод

ВМО – Всемирная метеорологическая организация

ВФЗ – Высотная фронтальная зона

Га – Гектар

ЖКХ – Жилищно – коммунальное хозяйство

ЛЗМА – Лаборатории по мониторингу загрязнения атмосферы

мг/л – Миллиграмм на литр

ОАО – Открытое акционерное общество

Оз – Озеро

ТНХО – Таблица наблюдений за химическим составом осадков

УГМС – Управление гидрометеорологической службы

ЦБК – Целлюлозно-бумажный комбинат

ЦДА – Центры действия атмосферы

ЦКК – Целлюлозно – картонный комбинат

ХСО – Химический состав осадков

Список Литературы

1. Кислотные дожди / Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Л. и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 243 с.
2. Кислотные выпадения. Долговременные тенденции / Под ред. Ф.Я. Ровинского, В.И. Егорова. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 439 с.
3. Husar R.B, Sullivan T.J., Charles D.F. Historical trends in atmospheric sulfur deposition and methods or assessing long-term trends in surface water chemistry / Acidic deposition and aquatic ecosystems / Ed. Charles D.F. -Springer - Verlag, 1991. - P. 65-82.
4. Galloway J.N. Acidification of the word: natural and anthropogenic // Water, Air and Soil Pollution - 2001. - Vol. 130. - №1/4. - P. 17-24.
5. Назаров И.М. Крупномасштабное атмосферное загрязнение природной среды // Исследования в области океанологии, физики атмосферы, географии, экологии, водных проблем и геокриологии. Сб. выст. канд. в чл. РАН 2000. Науч. Конф. Отдел. океанологии, физики атмосферы и географии РАН 19-20 мая 2000. - М.: Геос., 2001. - С. 160-165.
6. Кислотные осадки. - М.: Квинта плюс, 2004. - 16 с.
7. Takahashi A., Fujita S. Long-term in nitrate to non- seasalt sulfate ratio in precipitation collected in western Japan // Atmospheric Environment. - 2000. - Vol. 34. - P. 4551-4555.
8. Emberson L.D., Ashmore M.R., Murray F. Impacts of air pollutants on vegetation in developing countries // Water, Air and Soil Pollution - 2001. - Vol. 130. - №1/4. - P. 107-118.
9. Brydges T. Ecological change and challenges for monitoring / Pap. EMANs 5th National Science Meeting "Monitoring Ecological Change in Canada", Victoria, 1999 // Environ. Monit. and Assess. - 2001. - Vol. 67. - № 1-2. - P. 89-95.
10. Karlun E. Principal geographic variation in the acidification of Swedish forest soils // Water, Air, and Soil Pollution, - 1994. - Vol. 76, № 3-4. - P. 353-362.

11. Walna B., Drzymata S., Siepak J. The impact of acid rain on potassium and sodium status in typical soils of the Wielkopolski national park // Water, Air, and Soil Pollution. - 2000. - Vol. 121. - № 1-4, - P. 31-41.
12. Knutsson G. Acidification effects on groundwater - prognosis of the risks for the future: Pap. Int. Conf. «Future Groundwater Resoir. Risk», Helsinki, 13-16 June, 1994 // IAHS Publ. - 1994. - No 222. - P. 3-17.
13. Johansson K., Bringmark E., Lindevall L. Effects of acidification on the concentration of heavy metals in running waters in Sweden: [Pap.] 5th Int. Conf. Acidic Depos.: Sci. and Policy, Goteborg, 26-30 June, 1995. Vol.2 // Water, Air, and Soil Pollut. - 1995. - Vol. 85. - №2. - P. 779-784.
14. Kahl J. S., Norton S. A., Cronan C.S. Maine // Acidic deposition and aquatic ecosystems / Ed Charles D.F. - Springer - Verlag, 1991. - P. 203-235.
15. Bishop K., Laudon H., Hruska J., Kram P., Kohler S., Lofgren S. Does acidification policy follow research in Northern Sweden? The case of natural acidity during 1990-s // Water, Air and Soil Pollution. - 2001. - Vol. 130. - № 1/4. P. 1415-1420.
16. Hultberg H. Thermally stratified acid water in late winter - a key factor inducing self-accelerating processes which increase acidification // Water, Air, and Soil Pollution. - 1977, - №7. - P. 279 - 294.
17. Johannessen M., Henriksen A. Chemistry of snow meltwater: changes in concentration during melting // Water resources research. - 1978. - Vol. 14. - №4. - P. 615- 619.
18. Fay Baird S., Buso D.C., Hornbeck J.W. Acid pulses from snowmelt at acidic Cone Pond, New Hampshire // Water, Air, and Soil Pollution. - 1987. - №34. - P. 325-338.
19. Cosby B. J., Ryan P.F., Webb J. R. Mountains of Western Virginia // Acidic deposition and aquatic ecosystems / Ed. D.F. Charles. - 1991. - Springer - Verlag. - P. 297-318.
20. Richardson G. M, Eyed M., Currie D.J. Does acid rain increase human exposure to mercury? A review and analysis of recent literature // Environ. Toxicol. and Chem. - 1995. - Vol. 14. - № 5. - P. 809-813.

21. Kitamura S., Ikuta K. Acidification severely suppresses spawning of hime salmon (land-locked sockeye salmon, *oncorhynchus nerka*) // Aquatic Toxicology. - 2000. - Vol. 51. - No 1. - P. 107-113.

22. Narita Y., Satoh K., Hayashi K., Iwase T., Tanaka S., Dokiya Y., Hosoe M., Hayashi K. Long term trend of chemical constituents in Tokyo metropolitan area in Japan // Water, Air and Soil Pollution. - 2001. - Vol. 130. - № 1/4. - P. 1649-1654.

23. Aikawa M., Hiraki T., Shoga M. Fog and precipitation chemistry at Mt. Rokko in Kobe, April 1997-March 1998 // Water, Air and Soil Pollution, - 2001. - Vol. 3. - № 1/4.- P. 1517-1522.

24. Adachi M., Hayashi K., Dokiya Y. Sea ice approach and chemical species in precipitation at Abashiri, Japan // Water, Air and Soil Pollution. - 2001.- Vol. 130.- № 1/4, - P. 1655-1660.

25. Dokiya By Y., Miyakoshi N., Hirooka T. Long range transport of sulfur compounds over the Western North Pacific: deposition samples obtained on islands // Meteorol. Soc. Jap. - 1995. - Vol. 73. - №5. - P. 873-881.

26. Fukuzaki N., Ohizumi T., Matsuda K. Geographical and temporal variations of chemical constituents in winter precipitation collected in the areas along the coast of the sea of Japan Water, Air and Soil Pollution - 2001. - Vol.130. - № 1/4. - P. 1673-1678.

27. Seto S., Oohara M., Ikeda Y. Analysis of precipitation chemistry at a rural site in Hiroshima Prefecture, Japan // Atmospheric Environment. - 2000. - Vol. 34. - P. 621-628

28. Кокорин А.О., Политов С.В. Поступление загрязняющих веществ из атмосферы с осадками в Южном Прибайкалье // Метеорология и гидрология. - 1991. - №1. - С. 48-54.

29. Ходжер Т.В. Поступление веществ из атмосферы на оз. Байкал с осадками // Тез. Докл. 1 региональной конференции по миграции солей на территории Среднеазиатского региона. - Ташкент - 1988.- С. 85-86.

30. Оболкин В.А, Ходжер Т.В., Анохин Ю.А., Прохорова Т.А. Кислотность атмосферных выпадений в регионе Байкала // Метеорология и гидрология. 1991. - №1. - С. 55-60.

31. Андреев Б.Г., Рожков Н.Г. Исследования химического состава атмосферных осадков на Дальнем Востоке // Труды ДВНИГМИ. Ленинград, 1971. Вып. 32. С. 213-226.
32. Кондратьев И.И., Качур А.П. Роль орографических и климатических факторов формирования химического состава снежного покрова Сихотэ-Алинского биосферного региона // География и природные ресурсы. 2004. Мо 1. С. 112-117
33. Кондратьев И.И., Мезенцева Л.И., Семькина Г.И. Тенденции в динамике рН осадков в Дальневосточном регионе Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2007. № 4. С. 89-99.
34. Труфанов А.И., Кислицин Л.В. Роль атмосферных осадков в формировании химического состава грунтовых и речных вод южной части Дальнего Востока // Вопросы географии Дальнего Востока: сб. статей. Хабаровск, 1973. Вып. 13. С. 85-99.
35. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Фокина Ю.А. Особенности формирования химического состава снежного покрова южных районах Приамурья // Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: матер. науч. конф. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2005. С. 155 - 157.
36. Исидоров В. А. Экологическая химия. СПб.: Химиздат, 2001.
37. Тулохонов А. К. Байкальский регион: проблемы устойчивого развития. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1996
38. Гильмундинов, В.М. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России / В.М. Гильмундинов, Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева, К.С. Кугаевская // Регион: экономика и социология. - 2013. № 1. - С. 209-228.
39. Голохваст, К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока: монография / К.С. Голохваст; отв. ред. Н.К. Христофорова. - Владивосток Дальневост. федерал. ун-т, 2013а. - 178 с.

40. Голохваст, К.С. Состав атмосферных взвесей в Находкинском городском округе (Приморский край) / К.С. Голохваст, Я.Ю. Блиновская // Безопасность в техносфере. - 2014. - Т. 3, № 4. - С. 23-27.

41. Дрозд, В.А. Годовые колебания частиц РМ10 в воздухе Владивостока / В.А. Дрозд, П.Ф. Кику, В.Ю.Ю. Ананьев, Д.С. Жигаев, И.Г. Лисицкая, С.М. Олесик, А.С. Холодов, В.В. Иванов, В.В. Чайка, К.С. Голохваст // Известия Самарского научного центра РАН. - 2015а. - Т. 17, №5(2). - С. 645-651.

42. Дрозд, В.А. Перспективы введения системы автоматического мониторинга атмосферного загрязнения во Владивостоке / В.А. Дрозд, А.С. Холодов, В.В. Чайка, К.С. Голохваст // Известия Самарского научного центра РАН. - 2015б. - Т. 17, №5(2). - С. 447-450.

43. Кику, П.Ф. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека: монография / П.Ф. Кику, С.Н. Бениова, Б.И. Гельцер. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. - 390 с.

44. Котляр, Е.В. Загрязнение атмосферного воздуха Уссурийска по данным социально-гигиенического мониторинга / Е.В. Котляр // Здоровье. Медицинская экология. Наука. - 2016. - №3(66). - С. 197-201.

45. Столбун, О.А. О загрязнении атмосферного воздуха в Уссурийске / О.А. Столбун, О.И. Савлукова, Е.В. Котляр // Здоровье. Медицинская экология. Наука. - 2012. - № 3-4. - С. 163-167.

46. Филонова, Е.А. Угольные терминалы в Приморском крае - источник микроразмерного загрязнения атмосферы / Е.А. Филонова, А.С. Холодов, В.В. Чайка, В.А. Дрозд, Д.Д. Саланин, Я.Ю. Блиновская, К.С. Голохваст // Проблемы региональной экологии. - 2016. - № 5. - С. 104-107.

47. Христофорова, Н.К. Экологические проблемы региона: Дальний Восток - Приморье: учебное пособие / Н.К. Христофорова. - Владивосток; Хабаровск: Хабаровск, кн. изд-во, 2005. - 304 с.

48. Экологический мониторинг в районах угледобычи / Ю.А. Манаков, А.Н. Куприянов, Т.О. Стрельникова, В.И. Уфимцев, О.А. Куприянов, М.М. Силантьева,

А.Ю. Гребенникова, К.С. Голохваст, С.В. Лукьянцев; отв. ред. А.Н. Куприянов. - Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2017. - 208 с.

49. Fell, A.K.M. Association between exposure in the cement production industry and non-malignant respiratory effects: a systematic review [Электронный ресурс] / A.K.M. Fell, K.C. Nordby // *BMJ Open*. - 2017. - Vol. 7, Is. 4. - Режим доступа: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012381>.

50. Gope, M. Tracing source, distribution and health risk of potentially harmful elements (PHEs) in street dust of Durgapur, India / M. Gope, R.E. Masto, J. George, S. Balachandran // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. - 2018. - Vol. 154. - P. 280-293.

51. Kirichenko, K. Yu. The study of pollution of atmospheric particulate matter with coal dust in Nakhodka city [Электронный ресурс] / K.Y. Kirichenko, V.B. Savranskiy, V.A. Drozd, A.S. Kholodov, K.S. Golokhvast // *AIP Conf. Proc.* - 2017. - Vol. 1874, 040016. - Режим доступа: <https://doi.org/10.1063/1.4998089>.

52. Laney, A.S. Respiratory diseases caused by coal mine dust / A.S. Laney, D.N. Weissman // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. - 2014. Vol. 56, No. 10S. - P. 18-22.

53. Mehraj, S.S. Health risks for population living in the neighborhood of a cement factory / S.S. Mehraj, G.A. Bhat, H.M. Balkhi, T. Gul // *African Journal of Environmental Science and Technology*. - 2013b. - Vol. 7(12). - P. 1044-1052.

54. Mishra, S. A review on environmental and health impacts of cement manufacturing emissions / S. Mishra, N.A. Siddiqui // *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*. - 2014. - Vol. 2, Is. 3. - P. 26-31.

55. Pant, P. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: a review / P. Pant, R.M. Harrison // *Atmospheric Environment*. - 2013. - Vol. 77. - P. 78-97.

56. Petsonk, E.L. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure / E.L. Petsonk, C. Rose, R. Cohen // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. - 2013. - Vol. 187, Is. 11. - P. 1178-1185.

57. Окружающая среда и условия устойчивого развития Читинской области / А.М. Котельников, О.А. Вотах, А.М. Возмилов и др. - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. - 248 с.
58. Ивашинников Ю.К. Физическая география Дальнего Востока России. Владивосток: ДВГУ, 1999. 324 с.
59. Киселев А.Н., Кудрявцева Е.П. Высокогорная растительность Южного Приморья. М.: Наука, 1992. 120 с.
60. Дроздов О.А., Васильев В.А. и др. Климатология. Гидрометеиздат, 1989. - 568 с.
61. Бояркин В.М. География Иркутской области / В.М. Бояркин. - Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1995.- 200 с.
62. Седельников В. П. Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988.
63. Информационный портал г. Иркутска. URL: [http:// www.baikal.ru](http://www.baikal.ru) (дата обращения: 2.05.2021).
64. Швер Ц.А. Климат г. Иркутска / Ц.А. Швер, Н.П. Форманчук, -Л.: Гидрометеиздат, 1981.-246 с.
65. Кулаков В.С. Рельеф // Энциклопедия Забайкалья. Читинская область. Т. 1. Общий очерк. - Новосибирск: Наука. 2000. С. 37-40.
66. Свинухов Г.В., Свинухов В.Г., Кондратьев И.И. Исследование и краткосрочный прогноз загрязнения воздуха в городах Приморского края. - Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1993. - 104 с.
67. Семенченко Б. А. Физическая метеорология. М.: Аспент-Пресс, 2002.
68. Бондарь М. А. Затяжные дожди в южном Прибайкалье// Метеорология и гидрология. 1940. № 3. С. 47-53.
69. Rykovodstvo.ru [Электронный ресурс]: Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. – Режим доступа: <https://rykovodstvo.ru/exspl/2735/index.html>

70. Смогут ли читинцы через два года задышать чистым воздухом – Российская Газета - <https://rg.ru/2022/08/18/reg-dfo/smogut-li-chitincy-cherez-dva-goda-zadyshat-chistym-vozduhom.html> (Дата обращения: 16.10.22)

71. Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала / В. А. Оболкин, О. Г. Нецветаева, Л. П. Голобокова [и др.] // География и природные ресурсы. – 2013. – № 2. – С. 66-73.

72. Гафиятова, Т. П. Влияние экологических проблем на состояние природных ресурсов / Т. П. Гафиятова, О. И. Лебедева // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 2. – С. 437-439. – EDN TJLUDR.

73. Еремина И. Д. Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений / И. Д. Еремина // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2019. – № 3. – С. 3-10.

74. Фукс В. И. Кислотные осадки / В. И. Фукс // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. – 2017. – № 7. – С. 304-305.

75. Воскобойникова В. А. Кислотные осадки: масштабы угрозы и пути решения экологических проблем / В. А. Воскобойникова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 1-3(52). – С. 15-17.

76. Еремина И. Д. Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений / И. Д. Еремина // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2019. – № 3. – С. 3-10.

77. Кислотность и химический состав осадков на территории Московского региона в теплый период года / И. Д. Еремина, Н. Е. Чубарова, Л. И. Алексеева, Г. В. Суркова // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2014. – № 5. – С. 3-11.

78. Семенов А. В. Кислотный дождь / А. В. Семенов, Р. В. Шарапов // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 3-1. – С. 90-91.

79. Чомаева М. Н. Проблемы воздействия кислотных осадков на окружающую среду и человека / М. Н. Чомаева // Астраханский вестник экологического образования. – 2020. – № 4(58). – С. 100-106.

80. Чомаева М. Н. Взаимовлияние негативного воздействия кислотных осадков на окружающую среду и человека / М. Н. Чомаева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 5-3(44). – С. 27-29.

81. Воскобойникова В. А. Кислотные осадки как следствие антропогенного фактора / В. А. Воскобойникова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 1-3(52). – С. 12-14.

82. Каргин И. Ф. Химический состав атмосферных осадков и содержание в них тяжелых металлов / И. Ф. Каргин, И. И. Игонов // Российский научный мир. – 2013. – № 1(1). – С. 49-55.

83. Валиуллина А. М. Кислотность осадков. Исследование кислотности осадков на территории Ульяновской области и города Ульяновск / А. М. Валиуллина // Научно-практические исследования. – 2020. – № 8-8(31). – С. 23-25.

84. Герасимова Л. А. Влияние кислотных осадков на химические процессы в почвенных комплексах / Л. А. Герасимова, М. Е. Баранов // Решетневские чтения. – 2018. – Т. 2. – С. 34-35.

85. Воскобойникова В. А. Кислотные осадки: масштабы угрозы и пути решения экологических проблем / В. А. Воскобойникова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 1-3(52). – С. 15-17. –

86. Анисимов С. Ю. Классификация методов защиты окружающей среды от воздействия техносферы / С. Ю. Анисимов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2017. – Т. 1, № 8. – С. 481-483.

87. Гафиятова Т. П. Влияние экологических проблем на состояние природных ресурсов / Т. П. Гафиятова, О. И. Лебедева // Вестник Технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 2. – С. 437-439.

88. Мадиеков А. С. Динамика изменения содержания тяжелых металлов в атмосферных осадках города Балкаш / А. С. Мадиеков // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2016. – Т. 16, № 9. – С. 168-171.

89. Достай Ж. Д. Формирование химического состава атмосферных осадков на северном склоне Иле Алатау / Ж. Д. Достай, М. Х. Сарсенбаев, А. Ж. Достоева // Гидрометеорология и экология. – 2016. – № 2(81). – С. 66-71.

90. Першина Н. А. Фоновая составляющая атмосферных осадков / Н. А. Першина, М. Т. Павлова // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2013. – № 569. – С. 224-232.

91. Котова Е. И. Формирование химического состава осадков на Севере Европейской территории России / Е. И. Котова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. – 2012. – № 4. – С. 116-122.

92. Анализ загрязнения атмосферы в Приморском крае в 2019-2020 гг. по данным спутникового мониторинга GMAO/NASA / Д. Н. Василевский, Л. Н. Василевская, И. А. Лисина, Б. Б. Мушта // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2021. – № 4(382). – С. 149-162.

93. Особенности химии атмосферных осадков станций Листвянка (Иркутская область) и Приморская (Приморский край) в 2005–2011 гг. / О. Г. Нецветаева, Е. В. Чипанина, В. А. Оболкин [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26, № 6. – С. 466-471.

94. Мезенцева Л. И. Траектории и глубина циклонов, выходящих на территорию Приморского края / Л. И. Мезенцева, М. А. Гришина, И. И. Кондратьев // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2019. – № 4(206). – С. 29-38.

95. Влияние трансграничного и природного факторов на химический состав осадков в Дальневосточном регионе России / И. И. Кондратьев, Б. В. Кубай, Г. И. Семькина, А. Н. Качур // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 10. – С. 45-54.

96. Данова Т. Е. Динамика атмосферных осадков юга Дальнего Востока по результатам компонентного анализа / Т. Е. Данова, Е. А. Григорьева // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 146-154.

97. Никитина А. Е. Изменчивость концентрации аммония в атмосферных осадках на севере Русской равнины / А. Е. Никитина, П. В. Хомяков, Н. П. Торсуев // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2013. – № 1-2(57-58). – С. 24-27.

98. Кондратьев И. И. Межгодовая и сезонная изменчивость трансграничного потока техногенных загрязняющих веществ в Дальневосточном регионе / И. И. Кондратьев // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2018. – № 2(198). – С. 110-118.

99. Уразгулова М. М. Тенденция изменения состояния атмосферного воздуха в промышленном центре / М. М. Уразгулова, Н. В. Ксандров, С. А. Матвеева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 7-2. – С. 347-351.

100. Хурья Г. Х. Промышленное производство и экология среды: аспекты взаимовлияния / Г. Х. Хурья // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – № 9-1(60). – С. 54-57.

101. Гильмундинов В.М. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России / В.М. Гильмундинов, Л.К. Казанцева, Т.О. Тагаева, К.С. Кугаевская // Регион: экономика и социология. - 2013. № 1. - С. 209-228.

102. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. - М.: Моркнига, 2018. - 40 с.

103. Говорушко С.М. Экологические проблемы добычи, транспортировки и переработки ископаемого топлива / С.М. Говорушко Владивосток: Дальнаука, 2014. - 208 с.

104. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока: монография / К.С. Голохваст; отв. ред. Н.К. Христофорова. - Владивосток Дальневост. федерал. ун-т, 2013. - 178 с.

105. Голохваст К.С. Состав атмосферных взвесей в Находкинском городском округе (Приморский край) / К.С. Голохваст, Я.Ю. Блиновская // Безопасность в техносфере. - 2014. - Т. 3, № 4. - С. 23-27.

106. Голохваст К.С. Микроразмерное загрязнение атмосферы небольших промышленных населенных пунктов Приморского края (Дальнегорск, Лучегорск, Рудная Пристань) / К.С. Голохваст, И.В. Середкин, В.В. Чайка, Т.Ю. Романова,

А.А. Карабцов // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. - 2015. - № 55. - С. 108-112.

107. Голохваст К.С. Экологическая характеристика атмосферных взвесей угольных объектов: от места добычи до сжигания / К.С. Голохваст, А.Н. Куприянов, Ю.А. Манаков, А.И. Агошков // Горный журнал. - 2017. - № 4. - С. 87-90.

108. Горчакова А.Ю. О влиянии цементного производства на растения / А.Ю. Горчакова // Известия Самарского научного центра РАН. - 2014. Т. 16, № 1. - С. 120-126.

109. Дзюба О.В. Анализ воздействия предприятий по производству цемента на качество воздушной среды Российской Федерации / О.В. Дзюба, О.Н. Парамонова // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. - № 5-2(36). - С. 47-49.

110. Дрозд В.А. Годовые колебания частиц PM_{10} в воздухе Владивостока / В.А. Дрозд, П.Ф. Кику, В.Ю.Ю. Ананьев, Д.С. Жигаев, И.Г. Лисицкая, С.М. Олесик, А.С. Холодов, В.В. Иванов, В.В. Чайка, К.С. Голохваст // Известия Самарского научного центра РАН. - 2015а. - Т. 17, №5(2). - С. 645-651.

111. Дрозд В.А. Перспективы введения системы автоматического мониторинга атмосферного загрязнения во Владивостоке / В.А. Дрозд, А.С. Холодов, В.В. Чайка, К.С. Голохваст // Известия Самарского научного центра РАН. - 2015б. - Т. 17, №5(2). - С. 447-450.

112. Кику П.Ф. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека: монография / П.Ф. Кику, С.Н. Бениова, Б.И. Гельцер. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. - 390 с.

113. Кондратьев И.И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России / И.И. Кондратьев. Владивосток: Дальнаука, 2014. - 300 с.

114. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды / А.Т. Лебедев. - М.: Техносфера, 2013. - 632 с.

115. Наумов Ю.А. Особенности, тенденции и последствия загрязнения атмосферы городов Приморского края / Ю.Д. Наумов, О.В. Подконаева // Территория новых возможностей. - 2013. - №4(22). - С. 155-171.

116. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. - 220 с.

117. Петросова, Р.А. Естествознание и основы экологии: учебное пособие /Р.А. Петросова, В.П. Голов, В.И. Сивоглазов, Е.К. Страут. - М.: Дрофа, 2014. - 303 с.

118. РД 52.04.840-2015. Применение результатов мониторинга качества атмосферного воздуха, полученных с помощью методов непрерывных измерений. - СПб: Росгидромет, 2016.-- 49 с.

119. Степанова, Н.В. Методы оценки загрязнения городских территорий тяжелыми металлами / Н.В. Степанова, С.Ф. Фомина // Научный альманах. 2015. - № 7(9). - С. 913-916.

120. Уланова, Т.С. Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе вблизи автомобильных дорог / Т.С. Уланова, М.В. Антипьева, М.В. Волкова, М.И. Гилёва // Анализ риска здоровью. - 2016. № 4(16). - С. 38-46.

121. Филонова, Е.А. Угольные терминалы в Приморском крае - источник микроразмерного загрязнения атмосферы / Е.А. Филонова, А.С. Холодов, В.В. Чайка, В.А. Дрозд, Д.Д. Саланин, Я.Ю. Блиновская, К.С. Голохваст // Проблемы региональной экологии. - 2016. - № 5. - С. 104-107.

122. Холодов, А.С. Исследование микроразмерного загрязнения атмосферы г. Большой Камень (Приморский край)/ А.С. Холодов. С.М. Угай, В.А. Дрозд, К.С. Голохваст // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. - 2016а. - № 59. - С. 73-76.

123. Холодов А.С. Исследование микроразмерного загрязнения атмосферы пгт. Пограничный (Приморский край)/ А.С. Холодов, С.М. Угай, В.А. Дрозд, К.С.

Голохваст // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2016. - № 61. - С. 42-45.

124. Чомаева, М.Н. Промышленная пыль как вредный производственный фактор / М.Н. Чомаева // Национальная безопасность и стратегическое планирование. - 2015. - № 2(10). - С. 119-122.

125. Экологический мониторинг в районах угледобычи / Ю.А. Манаков, А.Н. Куприянов, Т.О. Стрельникова, В.И. Уфимцев, О.А. Куприянов, М.М. Силантьева, А.Ю. Гребенникова, К.С. Голохваст, С.В. Лукьянцев; отв. ред. А.Н. Куприянов. - Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2017. - 208 с.

126. Еникеев Ф.И., Потемкина В.И., Старышко В.Е. Стратиграфия и эволюция климата и растительности позднего кайнозоя Северного Забайкалья. - Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2013. 131 с.

127. Замолодчиков Д.Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата // Вестник РАН, 2013. Т. 83. № 3. С. 227-235.

128. Обязов В.А. Тенденции многолетних изменений речного стока в Забайкалье в многоводные и маловодные периоды // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450. № 6. С. 713-716.

129. Обязов В.А., Носкова Е.В. Изменения агроклиматических ресурсов Забайкалья в условиях глобального потепления // Труды Второй всероссийской научной конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов». Т. 2. - Казань: Изд-во «Отечество», 2013. С. 10-12.

130. Обязов В.Л., Смахтии В.К. Влияние изменений климата на речной сток в зимний период в Забайкалье // Метеорология и гидрология. 2013. N 7. С. 95-102.

131. Переведенцев Ю.П., Мохов И.И., Елисеев А.В. и др. Теория общей циркуляции атмосферы. - Казань: Казан. ун-т, 2013. 224 с.

132. Решетова С.А., Безрукова Е.В., Паниззо В. и др. История растительности центрального Забайкалья в позднеледниковье и голоцене (палинологическое изучение озёрных отложений). // География и природные ресурсы, 2013. No 2. С. 110-117.

133. Салугашвили Р.С. Изменения температуры воздуха в Европе в период современного глобального потепления. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. - Казань. 2013. 23 с.

134. Галушин, Д. А. Межгодовая динамика химического состава и кислотности атмосферных осадков на территории Приморского края за период с 2011 по 2020 г / Д. А. Галушин, С. А. Громов, С. М. Авдеев // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 3. – С. 42-48. – EDN APQSGG.

135. Галушин, Д. А. Оценка концентраций основных ионов в атмосферных осадках на территории Иркутской области с 2011 по 2020 г / Д. А. Галушин, С. М. Авдеев, С. А. Громов // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 10. – С. 51-57. – DOI 10.17513/use.37907. – EDN ZZCEF Y.

136. Climatology of transport and deposition of atmospheric substances of different intensity on the southern Primorye territory by using the meteorological reanalysis data and observations at EANET monitoring station / S. A. Gromov, D. A. Galushin, E. S. Zhigacheva [et al.] // Pure and Applied Chemistry. – 2021. – P. 20210322. – DOI 10.1515/pac-2021-0322. – EDN TBBUZZS.

138. Галушин, Д. А. Методы двумерной пространственной интерполяции в системе QGIS для исследования распределения выпадения кислотных осадков / Д. А. Галушин, С. М. Авдеев // Доклады ТСХА: Сборник статей, Москва, 02–04 декабря 2020 года. Том Выпуск 293, Часть IV. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 17-19.

139. Галушин, Д. А. Проблема воздействия антропогенного фактора на внешние географические сферы / Д. А. Галушин, С. М. Авдеев // Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова: Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова, Москва, 07–09 июня 2021 года. Том 1. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 295-297.

140. Галушин Д.А. Динамика изменения химического состава осадков на территории Восточной Сибири за период с 2011 по 2020 гг/ Д.А. Галушин, С.М. Авдеев// Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2022» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2022. ISBN 978-5-317-06824-0

141. Поступление окисленной серы на территорию РФ вследствие трансграничного переноса/ Д. А. Галушин, С. А. Громов, Е. А. Жадановская [и др.] // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов, Казань, 18–19 марта 2021 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2021. – С. 1268-1274.

142. Галушин Д.А. Климатология повторяемости путей переноса атмосферных осадков и аэрозолей морского и континентального происхождения на территория Приморского края по данным реанализа метеорологических полей за теплый период 2019 года/ Д.А. Галушин, С.М. Авдеев //Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2021» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, Е.И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2021. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – 2000 экз. ISBN 978-5-317-06593-5

143. Галушин, Д. А. Гидротермические условия Иркутской области за осредненный период 2000 - 2021 гг. / Д. А. Галушин, С. М. Авдеев // Аграрная наука - 2022: материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22–24 ноября 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 1109-1112.

144. Галушин, Д. А. Анализ среднемноголетнего выпадения сульфатов на территории Забайкальского края / Д. А. Галушин, С. М. Авдеев // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова: сборник статей, Москва,

06–08 июня 2022 года. Том 1. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 118-120.