

Арктика и Антарктика*Правильная ссылка на статью:*

Паршин А.В., Чередниченко А.Е., Горячев И.Н., Икрамов З.Л., Трусова В.В., Курина А.В., Качор О.Л. Экспресс-оценка качества атмосферного воздуха в нескольких населенных пунктах Восточной Евразии по результатам снегогеохимических исследований // Арктика и Антарктика. 2025. № 4. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.4.74123
EDN: DAGXIK URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=74123

Экспресс-оценка качества атмосферного воздуха в нескольких населенных пунктах Восточной Евразии по результатам снегогеохимических исследований

Паршин Александр Вадимович

ORCID: 0000-0003-3733-2140

кандидат геолого-минералогических наук

директор; Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет
старший научный сотрудник; Институт геохимии СО РАН

664074, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, Свердловский р-н, ул. Академика Курчатова, д. 3

✉ sarhin@geo.istu.edu

Чередниченко Александр Евгеньевич

студент; институт Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, Свердловский р-н, ул. Академика Курчатова, д. 3

✉ ssg@geo.istu.edu

Горячев Иван Николаевич

руководитель департамента рудной геологии; Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, Свердловский р-н, ул. Академика Курчатова, д. 3

✉ ivan.goryachev@geo.istu.edu

Икрамов Зиевиддин Лутфиддин угли

аспирант; институт Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, Свердловский р-н, ул. Академика Курчатова, д. 3

✉ ziyoviddin.ikramov1992@gmail.com

Трусова Валентина Валерьевна

кандидат технических наук

старший научный сотрудник; Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет
старший научный сотрудник; Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

664074, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, Свердловский р-н, ул. Академика Курчатова, д. 3

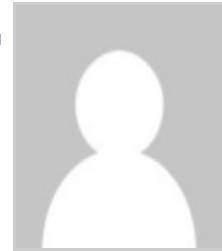
✉ vtrusova@gmail.com

Курина Анастасия Владимировна

инженер-исследователь; Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, Свердловский р-н, ул. Академика Курчатова, 3

✉ kurinanaya@geo.istu.edu



Качор Ольга Леонидовна

доктор технических наук

руководитель департамента геоэкологии; Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, Россия, Иркутская обл., г. Иркутск, Свердловский р-н, ул. Академика Курчатова, д. 3

✉ olgakachor@geo.istu.edu



[Статья из рубрики "Природные ресурсы Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.4.74123

EDN:

DAGXIK

Дата направления статьи в редакцию:

16-04-2025

Дата публикации:

24-05-2025

Аннотация: Изучены особенности загрязнения атмосферы в нескольких населенных пунктах различного размера, с существенно разным уровнем хозяйственной деятельности, находящихся в различных ландшафтно-морфологических условиях на значительной территории от Уральских гор до Тихого океана. Студенты Сибирской школы геонаук ИРНИТУ, приехавшие из различных городов, отбирали пробы снегового покрова во время зимних каникул, осуществляли пробоподготовку на месте, и затем привозили пробы снеговой воды и сухого остатка в лаборатории Института. Цель детальной характеристики атмогеохимической обстановки в каждом районе не ставилась: работа направлена на изучение возможных диапазонов техногенной и природной вариабельности концентраций нерастворимых и растворимых форм загрязняющих веществ в воздухе промышленных и фоновых территорий в пределах северо-восточной части Евразии, что необходимо для развития теоретического базиса систем экологического мониторинга и оценки фонового состояния природных и природно-антропогенных комплексов в рамках различных проектов хозяйственного освоения этой огромной и богатой природными ресурсами части России. Поскольку вся

рассматриваемая территория характеризуется наличием длительной зимы, лучшим способом для интегральной оценки качества атмосферного воздуха являются исследования снегового покрова. В данной работе был изучен химический состав твердого остатка и снеговой воды и осуществлена сопоставительная оценка медианных и предельных концентраций между различными объектами. Авторы рассматривают снегогеохимическую съемку как наиболее перспективный метод исследования фоновых состояний атмосферы и оценки влияния на нее новых и существующих промышленных объектов, который должен стать неотъемлемыми частями экологического обеспечения хозяйственной деятельности в северных районах. Однако база нормирования такого рода данных в настоящее время отсутствует, и для ее формирования необходимо вводить в научный оборот новые данные о снегогеохимии различных северных территорий, поскольку только на основе обобщения значительного объема геохимической информации можно будет достоверно и обоснованно судить о вопросах регионального и локального фона, фактах его превышений и степени их значимости. Кроме непосредственно данных об объектах из различных регионов с разным уровнем и типом нагрузки, среди важных результатов можно отметить фактические оценки информативности различных подходов к методике снегогеохимических исследований.

Ключевые слова:

загрязнение атмосферы, снегогеохимическая съемка, экологический мониторинг, тяжелые металлы, снеговой покров, оценка фонового состояния, Челябинская область, Иркутская область, Приморье, геохимический фон

1. Введение

Исследование состояния и возможного загрязнения атмосферного воздуха является одним из важнейших компонентов систем управления качеством окружающей среды и прогнозирования ее изменений [1]. Такие исследования проводятся в рамках инженерно-геологических изысканий, оценки фонового состояния природной среды новых участков, в рамках фундаментальных и поисковых научных исследований, в рамках обеспечения техносферной безопасности производств, при поисках месторождений полезных ископаемых и во многих других случаях. Широко распространенным в настоящее время вариантом атмогеохимических геоэкологических исследований являются максимально-разовые, суточные или сезонные измерения, реализуемые на стационарных постах или передвижных станциях, при которых с помощью специального оборудования осуществляется прокачка воздуха через фильтры или через автоматические газоанализаторы и производятся измерения концентраций различных показателей в единицах концентраций или количества частиц, отнесенных на объем воздуха ($\text{мкг}/\text{м}^3$, $\text{мг}/\text{дм}^3$). Результат становится доступным в режиме *in situ*, либо после завершения прокачки воздуха через фильтры остаток на них исследуются в лабораторных. Такой подход лежит в основе систем мониторинга качества атмосферного воздуха во многих странах мира и в основе рекомендаций Всемирной ассоциации здравоохранения [2, 3, 4]. В рамках национальных и международных систем нормирования аэрополлютантов разработаны соответствующие нормативы предельных допустимых воздействий или санитарные нормы, включающие набор контролируемых параметров и их допустимые и предельные значения [5, 6, 7, 8]. В зависимости от программы контроля атмосферного воздуха (полная, неполная, сокращенная) производится фиксация основных и специфических загрязнителей. К основным

относятся взвешенные вещества, оксиды углерода и азота, сернистый ангидрид, бенз(а)пирен, формальдегид; к специфическим в зависимости от промышленной инфраструктуры населенного пункта могут относиться аммиак, сероводород, хлор, фенол, тяжелые металлы. Стационарный вариант систем мониторинга позволяет эффективно осуществлять систематические наблюдения за состоянием атмосферного воздуха возле уже известных источников воздействий, при этом такие источники естественным образом находятся в пределах хозяйственно освоенных районов, где есть электричество, дороги, здания и сооружения, в которых можно разместить оборудование. Максимально-разовые или суточные мобильные комплексы позволяют либо выполнить оценку загрязнения атмосферы «здесь и сейчас», либо отреагировать на выявленный каким-либо другим образом (например, органолептически) факт происходящего в данный момент, но еще не завершившегося загрязнения. Такие комплексы могут являться относительно мобильными.

Оба описанных варианта атмогеохимических исследований имеют ряд недостатков. Так, максимально-разовая оценка не позволяет зафиксировать факты и степень значимости процессов, которые не происходят сейчас в моменте. Таким образом могут быть допущены самые разнообразные ошибки, например пропуск существенного, но периодически прекращающегося воздействия, или наоборот принятие техногенной аномалии за фоновое состояние атмосферы. Кроме того, для выполнения комплексных исследований значительного количества показателей требуется задействовать значительный по объему и сложности аппаратурный комплекс, который проблематично доставить в труднодоступные районы, например легким вертолетом и легко повредить в процессе перевозки по бездорожью, для производства исследований требуется специалист высокой квалификации и вездеходные средства для перевозки снаряжения и обеспечения его электропитания. Стационарные же системы наблюдений, которые позволяют фиксировать изменения состояния атмосферы в течение длительного времени и таким образом минимизировать риски пропуска существенных, но кратковременных воздействий, не могут быть использованы в удаленных от инфраструктуры районах, например при оценке фонового состояния окружающей среды в рамках проектов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, поскольку невозможно на практике обеспечить их автономную работоспособность на удаленном участке без какой-либо инфраструктуры и людей. В то же время современный уровень отношения к вопросам геэкологии и охраны окружающей среды требует достоверной оценки фоновых состояний качества атмосферы и их научно обоснованного мониторинга не только на существующих промышленных объектах, но и уже на первых стадиях хозяйственного освоения новых территорий. Например, согласно новой «Стратегии развития Минерально-сырьевой Базы РФ до 2050 год», экологическая компонента становится очень важной не только на стадии разработки месторождения, но и на стадии поисков и разведки, то есть тогда, когда на участке нет дорог, электричества и т.д., в таком случае даже мгновенную оценку, не говоря о постоянных наблюдениях реализовать крайне проблематично. Это же касается любых инфраструктурных проектов.

Эффективное решение данной проблемы связано с тем, что многих из новых инфраструктурах или горных проектов в северной части Евразии расположены в регионах с длительной зимой и устойчивым снеговым покровом, что позволяют использовать для изучения и мониторинга качества воздуха метод снегогеохимической съемки. Снег как депонирующая среда абсорбирует в себе самые разнообразные загрязнители, он лежит несколько месяцев и поэтому дает информативную оценку нагрузки в целом, его можно изучить на большое количество химических, физических и минералогических показателей, отбор не требует сложной аппаратуры, а детальность

исследований в пространственном отношении может быть очень высокой. В связи с этим такой поход уже широко применяется в научных исследованиях. Его более широкому распространению в практике экологического контроля препятствуют несколько факторов, и два наиболее значимых по мнению авторов связаны с тем, что вышеупомянутые принципы нормирования привязаны к объему воздуха в единицу времени и поэтому не могут быть транслированы на пробы снега, представляющие собой совокупность растворимых форм поллютантов в снежной воде и твердый остаток – нерастворимые формы в виде пыли. Для ограниченного ряда параметров (например, пылевая нагрузка) нормативы существуют, а также существуют и принципы расчета и классификации степени комплексных загрязнений [9]. Однако эти принципы в своей основе базируются на сопоставлении выявленных концентраций поллютантов с их фоновыми атмогеохимическими параметрами (коэффициентах контрастности аномалий), что формирует вторую проблему снегогеохимических исследований – фрагментарную изученность удаленных геосистем северных территорий, зачастую не позволяющую уверенно судить о параметрах геохимического фона. В таком случае стандартные подходы к снегогеохимическим исследованиям формируют ряд проблем, которые, как и их решения, и являются предметом данной статьи. В целом данное исследование направлено на развитие теоретического базиса систем снегогеохимических геоэкологических исследований как важного средства оптимизации хозяйственного освоения значительной по площади и богатой природными ресурсами части России. Изучены и показаны особенности состояния атмосферы в нескольких районах с существенно разным уровнем хозяйственной деятельности, находящихся в различных ландшафтно-морфологических условиях на значительной территории от Уральских гор до Тихого океана. Цель детальной характеристики атмогеохимической обстановки в каждом районе не ставилась: работа направлена на изучение возможных диапазонов техногенной и природной вариабельности концентраций нерастворимых и растворимых форм загрязняющих веществ в воздухе промышленных и фоновых территорий в пределах северо-восточной части Евразии, и на демонстрацию типичных по мнению авторов атмогеохимических/снегогеохимических ситуаций. В данной работе был изучен химический состав твердого остатка и снежной воды и осуществлена сопоставительная оценка медианных и предельных концентраций между несколькими объектами на Урале, в Прибайкалье, и в Приморье, и был выполнен анализ наблюденных особенностей снегогеохимической обстановки. В результате сформирован совершенно не исчерпывающий, но всё же достаточно достоверный и по мнению авторов полезный для широкого круга исследователей базис для проектирования и интерпретации результатов снегогеохимических исследований.

2. Объекты и методы исследований

В первую очередь авторы считают необходимым прокомментировать выбор объектов и объем работ на каждом из них, а именно – объяснить почему в разных районах отобрано различное количество проб (рис. 1). Дело в том, что данное исследование имеет жесткие временные и кадровые ограничения, поскольку полевая часть реализуется силами студентов ИРНИТУ первого курса в рамках базовых образовательных дисциплин для ускоренного формирования у них комплексных практических компетенций [10], и если организовать масштабные снегогеохимические исследования, требующие большого количества техники в районах Иркутской области для их детального изучения является вполне реальным [11-13 и др.], то пробы из регионов Урала и Приморья, а также и удаленных небольших поселков Байкальского региона студенты отбирают во время зимних каникул полностью самостоятельно, исходя из имеющихся у них возможностей. В любом случае в рамках данного исследования осуществляется полный цикл

снегогеохимических исследований: на каждый район готовится ГИС-проект с выбором априорно оптимальных точек исследований состояния атмосферы, в них отбираются пробы сезонного снега, после этого осуществляются стандартный цикл лабораторной подготовки и химического анализа полученных проб: таяние, фильтрация, сушка фильтров с твердым остатком, взвешивание, химический анализ. Студенты получили необходимые средства, такие как химические бессольные фильтры, мешки, лопатки и т.д. В зависимости от того, насколько далеко они проживают и каким транспортом возвращаются в Университет, они имели возможность либо осуществить дома весь цикл пробоподготовки и привезти в лаборатории снеговую воду и твердый остаток, либо привезти мешки со снегом и обработать их в Институте. После получения данных химического анализа выполнялась геостатистическая обработка и создание таблиц и схем концентраций, которые затем размещаются в публичном доступе на геопортале geo.istu.edu.

В результате объектами исследований в 2025 году стали:

- Часть Свердловского района города Иркутска в районе Академгородка и микрорайона Университетский.
- Популярные и активно застраиваемые загородные коттеджные поселки Николов Посад, Полет, Березовый, Форрест Хоум, Русый, Сергиев Посад, Ново-Иркутский, ГринХилл в Иркутском районе, которые сами объектов негативного воздействий (кроме возможного печного отопления) не содержат, но могут быть подвержены влиянию промышленности, энергетики, транспорта.
- Несколько значительно удаленных от Иркутска как главного центра хозяйственной деятельности Прибайкалья населенных пунктов, как теоретически фоновых по состоянию атмосферы (Бохан), так и имеющих определенную (горнодобывающую) монопромышленность (Черемхово, Новонукутский). В первом случае состояние атмосферы должно соответствовать региональному фону Байкальского региона, на который влияют только глобальные процессы атмосферного переноса (если предположить, что таковой единый фон существует), во втором случае мы должны увидеть влияние горнодобывающей промышленности.
- В западной части РФ объектом исследований с априори высоким уровнем техногенной нагрузки стал г. Челябинск – крупный центр металлургии и машиностроения. Здесь были отобраны четыре пробы в районах, как прилегающих к крупным промышленным объектам, так и относящимся к рекреационным территориям (парки, коттеджный поселок).
- Объект в восточной части РФ расположен в Приморье, это город Спасск-Дальний (1 пробы).

Общая схема исследований приведена на рисунке 1.

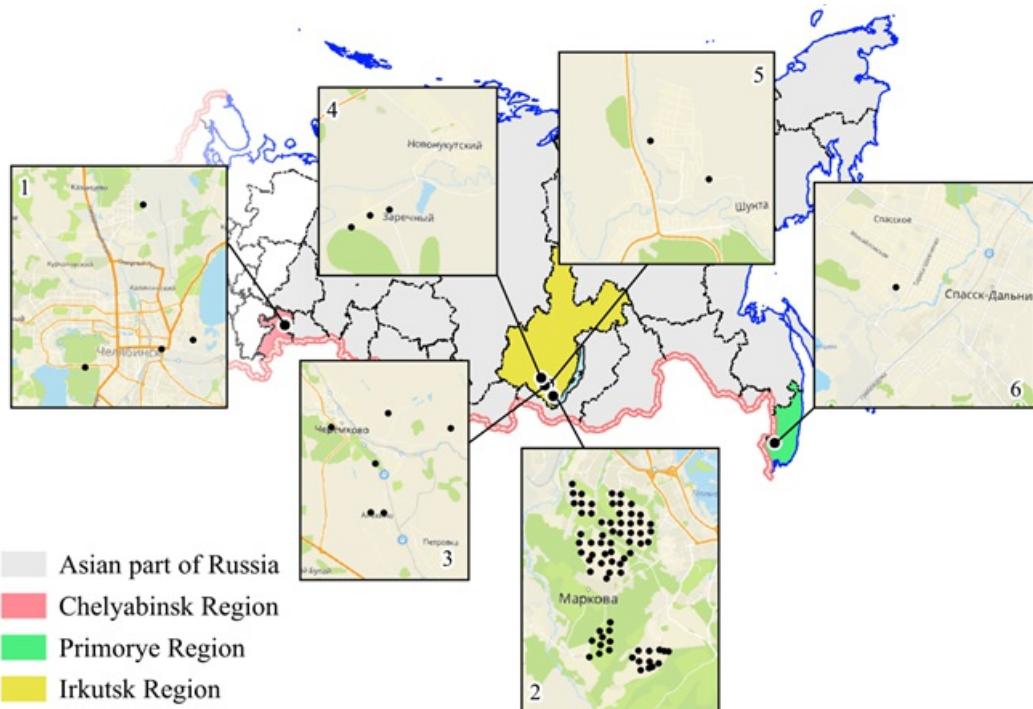


Рис. 1. Объекты снегогеохимических исследований: 1- Челябинск, 2 – Иркутск и иркутский район, 3 – Черемхово, 4 – Нукутский район, 5 – Бокан, 6 - Спасск-Дальний.

Каталог более точной привязки точек пробоотбора приведён в таблице 1:

Таблица 1. Точки отбора проб снега в различных районах Восточной Евразии

Населенный пункт	Место (количество проб)
Челябинск	Парк Терешковой (1), Тракторозаводской район (1), Район ЧМЗ, 2-я Павловская (1), парк Гагарина (1)
Нукутский район, пос. Заречный	Западная окраина (1), центр (1), восточная окраина (1)
Бокан	Окраина перед кладбищем (1), ул. Комсомольская (1)
Черемхово и Черемховский район	Центральный парк (1), Индустриальный район (1), СНТ «Дружба» (1), лесной массив недалеко от Транссибирской ЖД (1), жилые кварталы села Алексино (1), парк с. Алексино (1)
Иркутский район	ДНТ Полет (9), коттеджные поселки Березовый, Форрест Хоум, Русый (11), к.п. Николов Посад (15), Сергиев Посад (8), Ново-Иркутский (12), ГринХилл (10)
Спасск-Дальний	Спасский переулок (1)

Во всех случаях отбор проб осуществляется по стандартной методике с учетом требований ГОСТ Р 70282-2022 «Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Общие требования к отбору проб льда и атмосферных осадков». Пробы отбирались с открытых площадок, расположенных на удалении от явных источников локальных воздействий, с помощью пластиковых лопаток, затем помещались в полиэтиленовые мешки. Объем отбираемого снега фиксировался (измеряется глубина снегового покрова и площадь лунки).

Анализ проб осуществлялся в Химико-аналитической лаборатории Сибирской школы геонаук, аккредитованной в установленном порядке в соответствии с ISO/IEC 17025-2019. После таяния снега и фильтрации снеговой воды осуществлялся химический анализ твердого остатка на фильтрах и отфильтрованной талой воды. Объем талой воды до фильтрации и масса твердого остатка на фильтрах также измерялись, твердый остаток высушивался при комнатной температуре и взвешивался с помощью лабораторных весов Analytical XP204 с чувствительностью $\pm 0,1$ мг. Анализ твердого остатка проводился методом рентгенофлуоресцентного анализа [14]. Анализ снеговой воды осуществлялся методом ICP-AES.

В данной работе рассматриваются наиболее распространённые поллютанты первого и второго класса опасности веществ, попадающих в почву из выбросов: As, Pb, Zn, Cu, Ni, а также Fe. Такой выбор элементов соответствует наиболее распространенному комплексу исследований при первоначальной оценке фонового состояния участков недр перед началом их геологического изучения, вследствие чего особенности их накопления в снеговом покрове северных территорий, наиболее перспективных на обнаружение новых месторождений полезных ископаемых, является крайне актуальной задачей для научно-методического обеспечения предварительных и мониторинговых исследований состояния атмосферы. Также поведение этих элементов по сравнению с макроэлементами, CO₂ами, интегральной пылевой нагрузкой и прочими параметрами, контролируемыми в рамках стандартных программ мониторинга, описанных во вводной части статьи, существенно хуже изучено и описано в литературе.

3. Результаты

Результаты исследований представлены в виде таблиц и диаграмм с оценками усредненных и предельных параметров концентраций каждого элемента и небольших картограмм для тех районов, где проб более четырех или пяти, что позволяет сравнить различные районы друг с другом и изучить диапазоны возможной вариабельности атмогеохимических параметров. Безусловно приведенные математические оценки основаны на статистически непредставительном объеме данных, однако задача исследования заключается не в обоснованном расчете достоверных описательных статистик для каждого изученного района или населенного пункта, а в первую очередь – в исследовании возможных диапазонов изменчивости исследуемых параметров и их медианных значений. Для обеспечения этого пробы отбирались в характерных (не случайных) местах каждого изучаемого участка, и авторы надеются, что приведенные далее обсуждения позволят читателям согласиться с тем, что по крайней мере на полуколичественном уровне полученные данные позволяют сделать достаточно достоверные выводы об особенностях атмогеохимии изучаемых районов, а также и некоторые обоснованные методические комментарии.

3.1. Челябинск

Город Челябинск является одним из антилидеров российского рейтинга загрязнения атмосферы [15]. Высокий уровень загрязнения атмосферы, формируемый в том числе электрометаллургическим комбинатом, цинковым заводом, трубопрокатным заводом и металлургическим комбинатом, а также предприятиями энергетической отрасли в городе и районе, не оставался без внимания исследователей, в том числе и с применением методов снегогеохимических исследований [16; 17; 18, 19 и другие], однако вопросам изучения химического состава твердого остатка посвящена всего одна работа, и в ней не даются количественные данные [20]. Химические параметры снеговой воды изучены

предшественниками лучше [\[18; 19; 21\]](#).

В табл. 2 представлены результаты химико-аналитических исследований твердого остатка и снеговой воды.

Таблица 2. Концентрации элементов в твердой и жидкой фазе снега г. Челябинск

	As, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Cu, ppm	Fe, ppm	Ni, ppm
Твердый осадок						
Минимум	51,8	169,2	2131,2	445,8	>10%	47,2
Максимум	170,6	1116,0	11374,2	731,4	>10%	602,4
Медиана	111,2	642,6	6752,7	588,6	>10%	324,8
Снеговая вода						
Минимум	<НПО	<НПО	0,0172	0,0017	<НПО	<НПО
Максимум	0,0069	0,0059	0,1625	0,005	<НПО	<НПО
Медиана	<НПО	0,0052	0,0899	0,0034	<НПО	<НПО

Как видно из таблицы, твердый остаток снегового покрова характеризуется высокими содержаниями и существенной изменчивостью концентраций изучаемых элементов. Следует отметить, что даже минимальные концентрации железа столь велики, что находятся за верхним пределом диапазона определения используемой методики анализа.

При этом растворимые формы поллютантов существенно менее проявлены и зачастую находятся ниже предела чувствительности методики ICP-AES. Интересно, что по всей видимости железо и никель вообще практически не имеют водорастворимых форм. Сопоставляя полученные результаты с данными [\[22\]](#), полученными для памятника природы - озера Смолино, расположенного в южной части района, можно отметить принципиальную сходимость полученных данных для Pb, Zn и Cu. Обнаруженные нами концентрации Cu и Pb в среднем в два раза ниже, а Zn в 3 раза выше, что по всей видимости корректно отражает особенности загрязнения атмосферы в центральной и южной частях Челябинска, однако следует признать, что в данном случае исследование снеговой воды характеризуется меньшей информативностью по сравнению с твердым остатком.

Рассмотрим геопространственные особенности загрязнения атмосферы. На рисунке 2 приведена схема расположения точек пробоотбора в г. Челябинск.

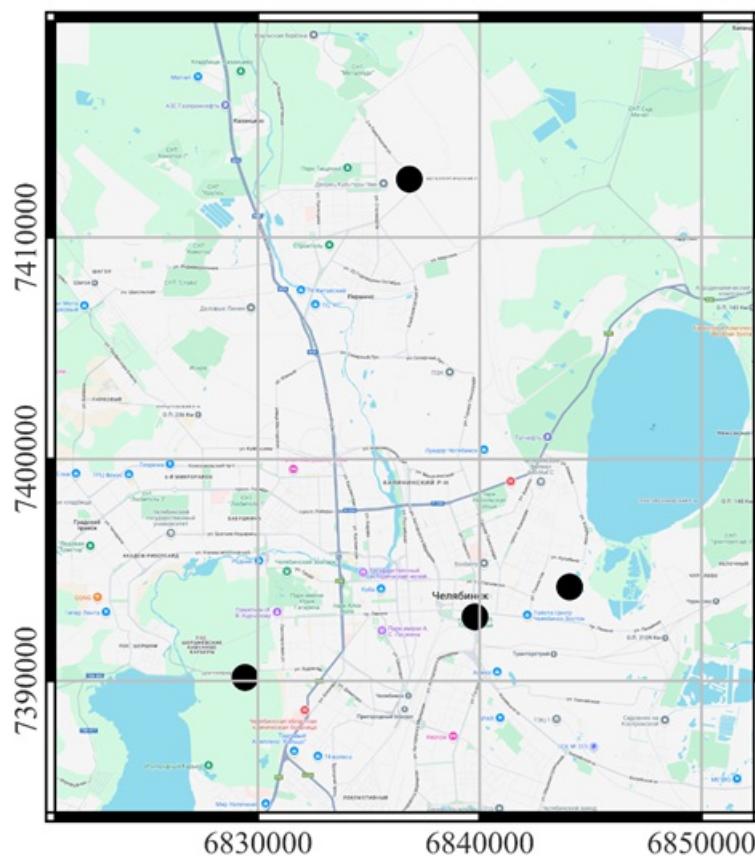
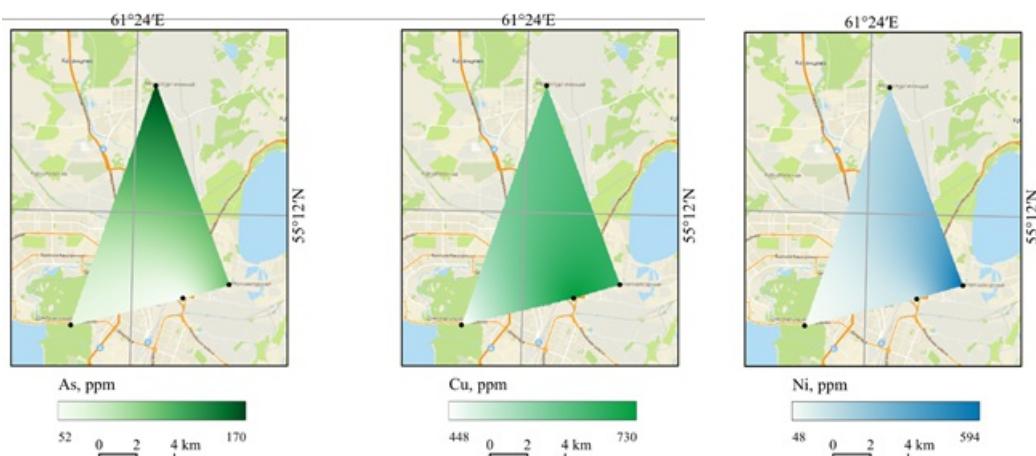


Рис. 2. Схема расположения точек отбора проб в г. Челябинск

Юго-западная точка отбора пробы сезонного снега расположена в центре Челябинского городского бора - реликтового соснового леса площадью 12 кв.км., памятника природы областного значения, расположенного в западной части города. Северная точка находится рядом с Челябинским металлургическим комбинатом – крупнейшим предприятием Металлургического района города, выпускающим широкий ассортимент продукции: чугун, стальной прокат, полуфабрикаты стального проката из углеродистой и специальной стали и коррозионно-стойкой стали. Восточная точка расположена в Тракторозаводском районе, рядом с Челябинским тракторным заводом, который также является априори известным источником техногенного воздействия. Четвертая точка, расположенная между второй и третьей, отобрана в детском парке им. В.В. Терешковой, который расположен в центре города рядом с проспектом Ленина.



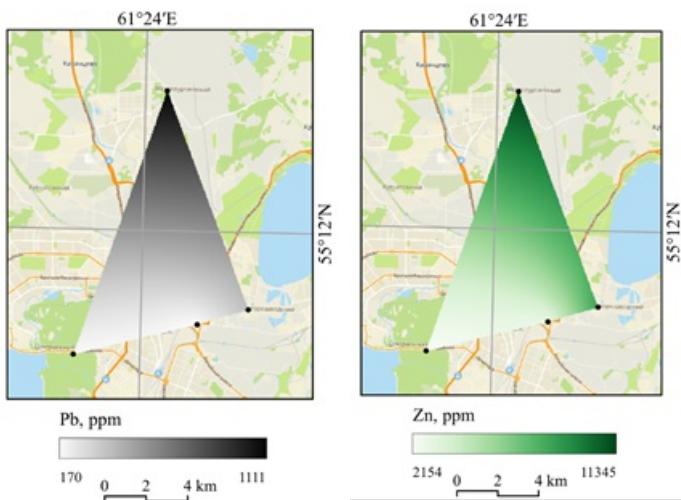


Рис. 3. Схемы концентраций поллютантов в твердом остатке снегового покрова г. Челябинска

Согласно полученным данным, наиболее чистым участком изучаемой площади является парк Терешковой (юго-западная часть участка). Максимальные концентрации мышьяка, свинца и цинка в твердом остатке снегового покрова расположены в Металлургическом районе (прилегающем к Челябинскому металлургическому комбинату). Концентрации этих элементов также высоки и в Тракторозаводском районе, а никель и медь проявлены здесь максимально. Но самая высокая концентрация меди зафиксирована в детском парке им. Терешковой в центре города, и концентрации никеля и цинка здесь также довольно высоки.

Однако при попытке перейти от такой качественной интерпретации уровня «здесь больше – здесь меньше» к оценке степени загрязнения воздуха в районе исследований и научно обоснованной характеристизации геоэкологической обстановки, мы столкнемся с обозначенной во вводной части статьи проблемой нормирования получаемых значений. Дело в том, что концентрации поллютантов в снеговой воде и твердом остатке ни в России, ни в общей мировой практике не нормируются, вследствие чего сделать выводы о качестве воздуха на основании представленных на рисунке 2 и в таблице 2 данных (карт или таблиц концентраций) мы не можем. Для того, чтобы все-таки охарактеризовать уровень загрязнения воздуха, в текущей практике используется подход, основанный на оценке степени загрязнения района несколькими поллютантами суммарно, для чего рассчитывается комплексный показатель нагрузки Zc [21, 23 и мн.др]:

$$Zc = \sum (Kci + \dots + Kcp) - (n - 1), \text{ где:}$$

- n — число определяемых суммируемых веществ;
- Kci — коэффициент концентрации i-го химического элемента, равный кратности превышения его содержания над фоновым значением;
- Kcp — коэффициент концентрации p-го химического элемента.

Этот показатель официально нормируется в соответствии с [24], вследствие чего его можно использовать для обоснования принятия решений о качестве окружающей среды или сопоставления по суммарной степени загрязнения воздуха нескольких объектов с различным составом техногенной нагрузки. Однако и такой подход не является полноценным решением проблемы эффективного использования снегогеохимических исследований как инструмента научно- и особенно нормативно-обоснованного

экологического мониторинга или оценки состояния качества воздуха, так как в его основе лежит расчет коэффициентов контрастности – кратности превышений обнаруженных концентраций над фоновым значением, которые в свою очередь необходимо каким-то научно обоснованным способом определить или вычислить.

Для этого применяется два основных подхода:

- сопоставление с «фоновыми» точками [23; 25; 26; 27] из районов, в которых априори отсутствует загрязнение, либо с соответствующими значениями ПДК/ОДК;
- расчетные методы, наиболее распространённом из которых является принятие за геохимический фон медианного значения концентраций поллютантов [28; 29].

Второй вариант хорошо применим для в целом природных геохимических обстановок, в пределах которых отмечаются единичные существенные техногенные аномалии. Первый вариант требует хорошей изученности региональной геохимической обстановки, и на слабо- или фрагментарно изученных районах при первоначальной геоэкологической оценке он малоприменим. Кроме того, такой подход является очень неустойчивым – при незначительных абсолютных изменениях в значениях геохимических параметров фоновой точки (вследствие аналитических погрешностей, вследствие небольших локальных воздействий в районе точки, вследствие отбора ее в несколько ином месте и т.д.) коэффициенты контрастности могут меняться существенно. Рассмотрим оба варианта применительно к полученным данным.

В данном случае коэффициенты контрастности аномалий относительно медианного значения для всех элементов находятся в диапазоне 1,2 – 2 раза, то есть контрастность аномалий невысока. Однако исследуемый объект фактически является полностью техногенным, вследствие чего природный фон методом медианного осреднения здесь найден быть не может, и таким способом будет определен средний уровень загрязнения атмосферы в городе (приведены далее в статье материалы покажут, насколько он существенный), и этот уровень будет принят за фон. Если же вынужденно принять за природное состояние окружающей среды параметры точки с наименьшими обнаруженными концентрациями поллютантов (тем более что согласно действующим требованиям к инженерно-экологическим изысканиям [30], точка в городском бору в полной мере соответствует критериям к фоновой), то коэффициенты контрастности окажутся гораздо выше – от 1.5 для Си до 12 для Ni. При этом очевидно, что если бы фоновая точка была расположена в другом месте, то коэффициенты контрастности, как и весь показатель Zc, приняли бы совершенно иное значение. Например, в работе [21], посвященной сравнению уровня загрязнения атмосферы в Челябинске и Москве, максимальные КК к фоновым точкам в обоих городах составили 18, при этом координаты и химические параметры фона ни для Москвы, ни для Челябинска, не приводятся.

По мнению авторов, вышеописанный кейс в целом отлично характеризует весь комплекс проблем внедрения снегогеохимических исследований как кондиционного средства оценки качества воздуха. Очевидно, что именно общеизвестные (напр. из литературы) параметры локального или регионального фона для различных районов «зимних» регионов и для различных компонентов снегового покрова (вода, твердый остаток) позволили бы исследователям относится к одним и тем же фоновым значениям, что и позволило бы привести результаты различных исследований в одни размерности, эффективно сравнивать различные районы на основе контрастности аномалий и комплексных показателей нагрузки, давать сопоставительные оценки качества воздуха.

Данное исследование как раз направлено на развитие такого теоретического базиса, для чего далее мы сравним вышеприведенные оценки среднего и диапазонов изменчивости химических параметров компонент снегового покрова Челябинска с другими регионами и районами. Это позволит более обоснованно судить о качестве воздуха в каждой из изученных локаций, а также и создаст определённый базис для еще не изученных территорий.

3.2. Байкальский регион

В отличие от индустриальных районов южного Урала, Байкальский регион относится к объектам всемирного природного наследия ЮНЕСКО, вследствие чего его природные экосистемы должны находиться в неизмененном состоянии, и на Российской Федерации лежит ответственность за их сохранение. В связи с этим вопросы естественного геохимического фона и степени превышения над ним в данном региона имеют особое значение. Однако и исторически, и в настоящее время регион испытывает серьезное воздействие от различных источников хозяйственной деятельности – горнорудной и металлургической промышленности, авиамашиностроения, объектов топливно-энергетического комплекса, и ряда других. Вследствие этого целый ряд городов и поселков Иркутской области, также как и промышленные города Урала, регулярно входят в перечень населенных пунктов с самым высоким уровнем загрязнения окружающего воздуха в России [31; 33]. При этом стоит отметить, что вследствие наличия в Иркутске крупного научного центра с несколькими институтами Российской академии наук и двумя крупными университетами, ведущими исследования в областях наук о Земли и окружающей среде, основные крупные города и поселки являются достаточно хорошо исследованными в геоэкологическом отношении, в том числе и методами снеговой съемки [12; 13; 23; 25; 26; 27; 28; 32; 33; 34 и мн.др.], правда ранее в основном изучались лишь растворимые формы поллютантов. Благодаря этому различными авторами используются как собственные, так и ранее опубликованные фоновые химические параметры снеговой воды, используется и расчетных подход. При этом для твердого остатка обобщающие данные пока не были сформированы, а удаленные от основных промышленных объектов районы и вовсе изучены лишь фрагментарно, вследствие чего геохимические параметры их снегового покрова зачастую не установлены.

Районы Иркутской области далее рассматриваются в порядке снижения уровня антропогенной нагрузки – по априорным представлениям.

3.2.1. Иркутский район

Город Иркутск и прилегающие к нему населенные пункты (Шелехов, Ангарск) регулярно входят в антирейтинг качества воздуха. В данном исследовании мы сосредоточились на пригородных районах, коттеджных поселках (в том числе с престижной дорогостоящей недвижимостью), в которых в отличие от центральной части города можно отобрать ненарушенные пробы сезонного снега (рис. 4).

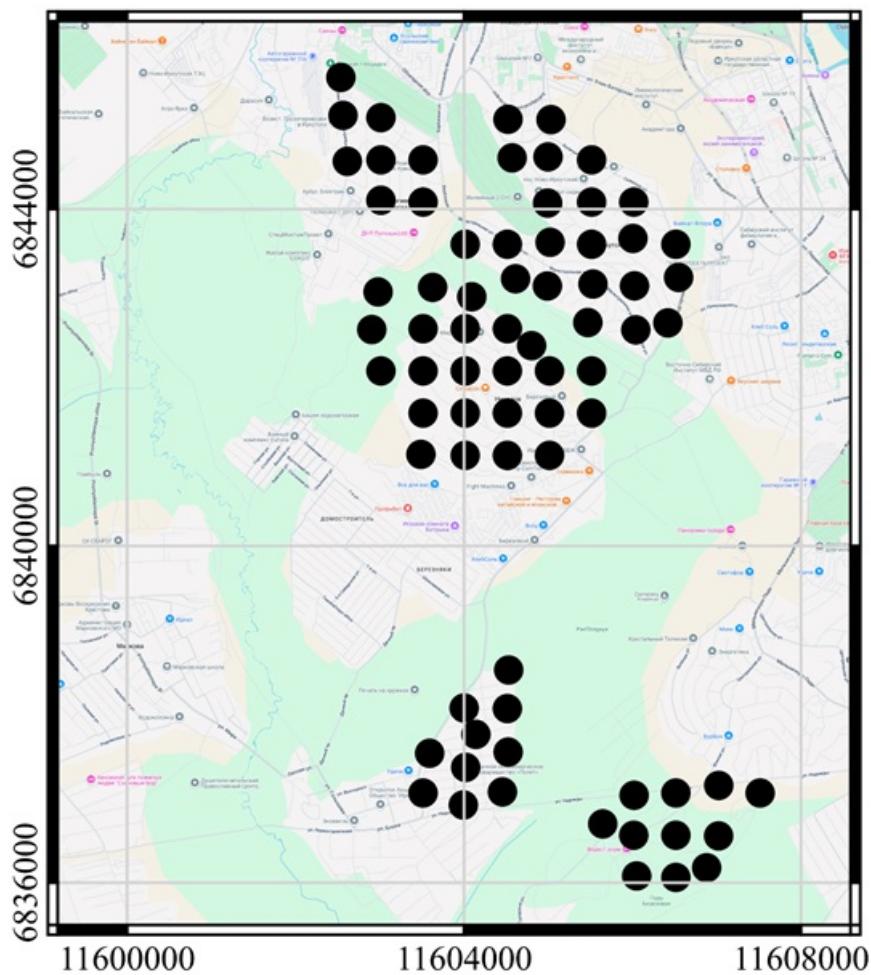


Рис. 4. Схема отбора проб снега в пригородах Иркутска

Необходимо отметить, что эти пригородные районы совершенно необязательно удалены от известных крупных источников воздействий. Например, зона 1 граничит с Иркутским масложиркомбинатом и Ново-Иркутской ТЭЦ, а Иркутский алюминиевый завод находится в нескольких километрах к юго-западу от зоны 2, то есть существенно ближе, чем центральная часть города.

Как видно из табл. 3, концентрации поллютантов в твердом остатке снегового покрова в пригородах Иркутска кратно ниже, чем в Челябинске, со снежной водой ситуация более сложная.

Таблица 3. Концентрации некоторых поллютантов в твердом остатке снегового покрова и снежной воде западных пригородов г. Иркутска

	As, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Cu, ppm	Fe, ppm	Ni, ppm
Твердый осадок						
Минимум	7,9	10,0	95,0	34,5	29922,3	1,9
Максимум	67,0	187,7	923,7	813,0	>10%	230,0
Медиана	37,5	98,8	509,3	423,8	64961,2	115,9
Снежная вода						
Минимум	<НПО	<НПО	<НПО	<НПО	Нет данных	<НПО
Максимум	0.0052	0.0276	0.0183	0.0624		0.08

Параметр...	0.0002	0.0270	0.0100	0.0021	0.0001
Медиана	<НПО	<НПО	<НПО	0.0062	0.01

Так, медианные концентрации загрязняющих веществ в твердом остатке снегового покрова Иркутского района в 1.5 (Cu) – 12 (Zn) раз ниже, чем в Челябинске. Коэффициенты контрастности по медианному фону являются примерно аналогичными зафиксированным в Челябинске (до 2-х раз), но КК относительно минимальных значений многократно выше – от 9 (As) до более 100 (Ni). Оценить распределение концентраций в картографическом виде можно из рис. 5.

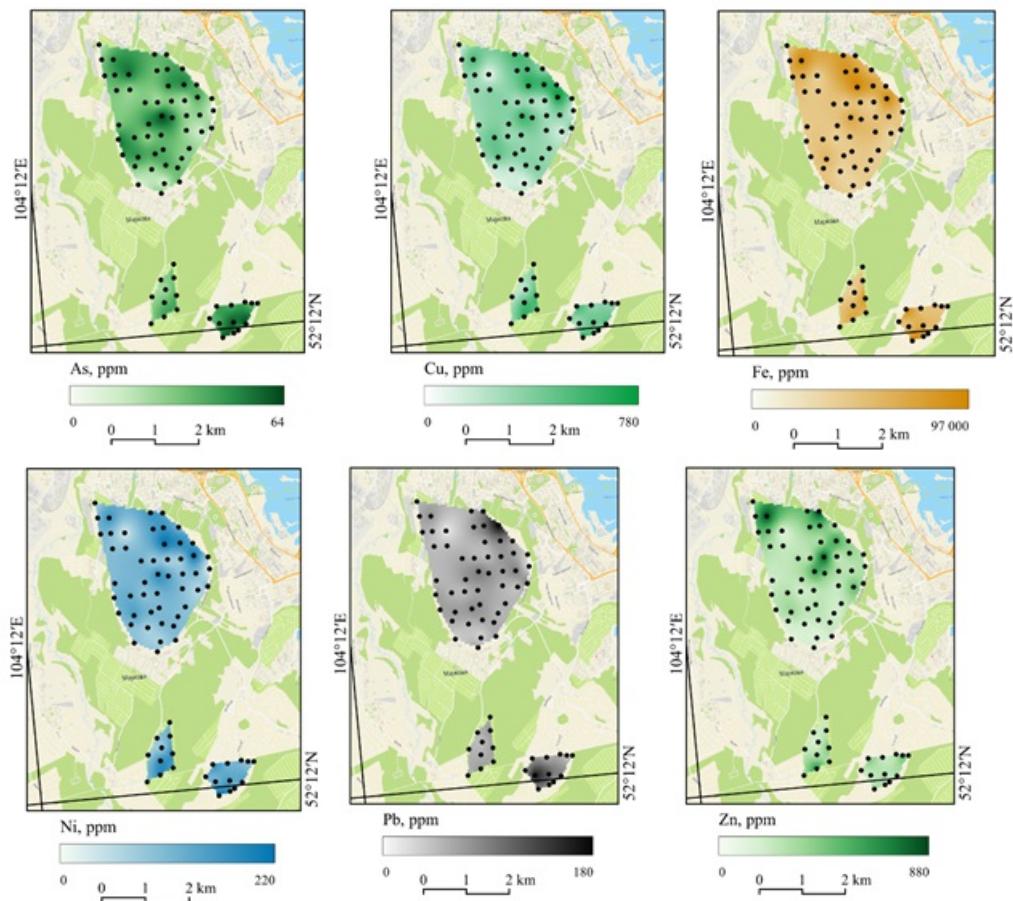


Рис. 5. Схемы концентраций поллютантов в твердом остатке снегового покрова Иркутского района

Это можно объяснить по крайней мере тремя позициями: во-первых, зафиксированным специфическим геохимическим фоном Прибайкалья с низкими природными концентрациями ряда параметров, во-вторых, высоким уровнем локальных воздействий, и, в-третьих, тем, что в Челябинске, вероятно, мы зафиксировали и проводили сравнение не с истинным региональным природным фоном, а все же с несколько загрязненным состоянием атмосферы. Первая позиция будет проверена далее сопоставлением полученных данных с результатами, полученными в районах Байкальского региона с отсутствующей промышленностью. Вторая позиция не вызывает сомнений, поскольку участки исследований находятся на известной техногенно нагруженной территории. Что касается третье позиции, то существующий уровень исследований не позволяет нам судить о ней обоснованно – в большинстве опубликованных работ по снегогеохимическим исследованиям Челябинска рассматривались только растворимые формы поллютантов [19, 22, и др.], единственное известное авторам исследование нерастворимых форм [20] не содержит первичных результатов химико-аналитических исследований, приведена лишь их интерпретация на

основе неуказанных экологических нормативов.

Используя в работе медианные оценки (а в таком случае коэффициенты контрастности аномалий аналогичны), следовало бы признать уровень загрязнения атмосферы в Челябинске и Иркутском районе примерно одинаковым, что в экологическом смысле очевидно совершенно несправедливо - исходя из кратно отличающихся концентраций поллютантов в твердом остатке.

Что касается растворимых форм загрязнителей, то здесь в первую очередь следует отметить существенно большую изменчивость концентраций меди в Иркутском районе, при этом минимальные значения здесь находится ниже предела обнаружения ICP-AES, максимальные в десять раз выше, чем в Челябинске, медиана выше примерно вдвое. Из этого можно сделать вывод что территория Челябинска довольно равномерно загрязнена растворимыми формами меди, в то время как в пригородах Иркутска загрязнения могут быть более серьезными, но локальными. Обстановка по свинцу и цинку в Иркутске более благоприятная, наблюдаются лишь единичные точки со значениями, лежачими в области определения методик анализа, в то время как медиана находится существенно ниже предела (в отличие от Челябинска). Вследствие этого картографические представления распределения элементов в снеговой воде не приводятся. Ситуация с водорастворимым мышьяком в Иркутске несколько лучше, с никелем чуть хуже (исходя из того, что медианное значение по Иркутскому району всё же определяется на количественном уровне). Общим наблюдением является то, что поведение водорастворимых форм совершенно не коррелирует с концентрациями поллютантов в твердой фазе, а также то, что в условиях чистой атмосферы (видимо соответствующей природному фону Прибайкалья) концентрации поллютантов в снеговой воде по всей видимости лежат ниже предела обнаружения атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанный плазмой.

3.2.2. Черемхово

Черемховский район находится в 120 километрах к северу от областного центра. Он является центром горнорудной (угольной) промышленности, однако другие значимые источники воздействий здесь отсутствуют, а сам поселок довольно удален от других крупных промышленных центров.

Для того, чтобы зафиксировать и фоновые параметры окружающей среды, и максимальную техногенную нагрузку, на территории самого города Черемхово были отобраны четыре пробы, расположенные и в Индустриальном районе, центральном парке и на окраинах города, и еще две - в расположенному неподалеку поселке Алехино. Схема пробоотбора приведена на рис. 6.

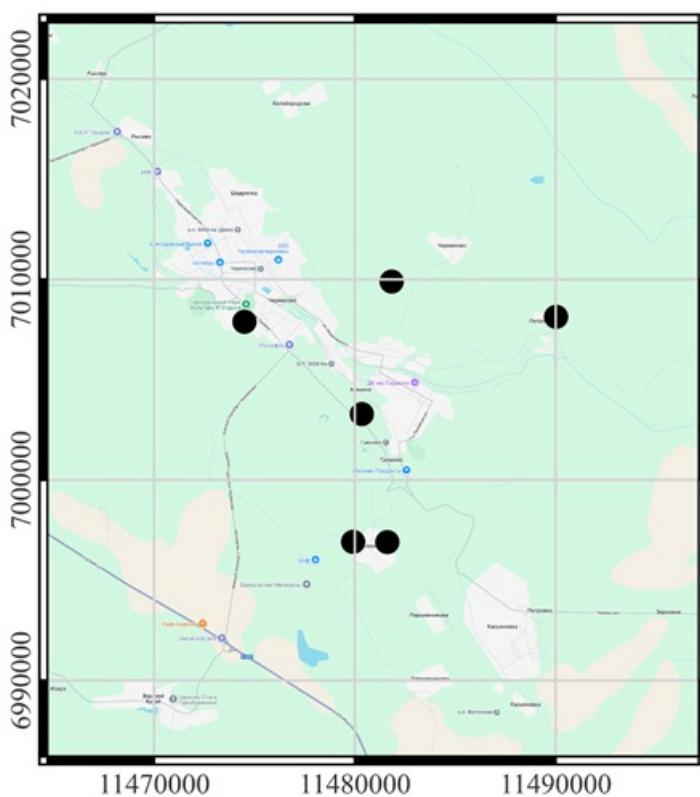


Рис. 6. Схема отбора проб в Черемховском районе Иркутской области

Результаты химико-аналитических исследований в табличном виде представлены в табл. 4.

Таблица 4. Концентрации некоторых поллютантов в твердом остатке снегового покрова и снеговой воде Черемховского района Иркутской области

	As, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Cu, ppm	Fe, ppm	Ni, ppm
Твердый осадок						
Минимум	8,8	13,8	237,2	18,3	21937,4	<1
Максимум	17,4	35,6	342,4	86,8	28519,2	74,0
Медиана	11,5	24,7	289,8	52,6	25238,3	37,3
Снеговая вода						
Минимум	<НПО	<НПО	<НПО	0,0027	<НПО	0,0014
Максимум	<НПО	<НПО	0,006	0,0121	<НПО	0,0098
Медиана	<НПО	<НПО	<НПО	0,0074	<НПО	0,0056

Как видно, медианные значения изучаемых поллютантов в твердом остатке снегового покрова в Черемховском районе в 1.5 (Zn) – 8 (Cu) раз ниже, чем в Иркутской районе, и в 10 (As, Cu, Ni) – 30 (Zn) раз ниже, чем в г. Челябинск. При этом коэффициент контрастности аномалий по медианному фону составляет от 1,1 для Fe до 2 для Ni, то есть средняя контрастность аномалий при таком подходе сопоставима и с Иркутским, и с Челябинским. Минимальные выявленные значения As, Pb и Ni сходны с зафиксированными в Иркутском районе (с учетом допустимой погрешности XRF-анализа в 10-15%). Исходя из этого можно предположить, что такие значения близки к

региональному фону. Минимальные концентрации железа в Черемхово ниже примерно на 30%, а меди наоборот почти в два раза выше, однако медианные значения этих элементов в Иркутске все равно существенно выше. Картографические представления приведены на рисунке 7.

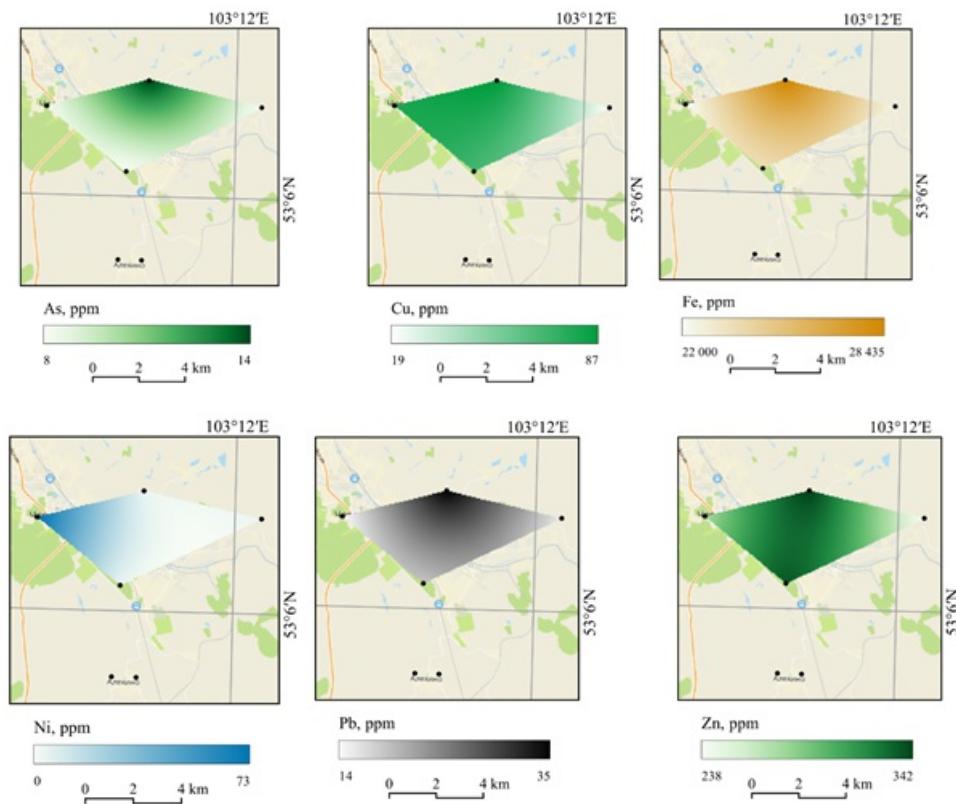


Рис. 7. Схемы концентраций поллютантов в твердом остатке снегового покрова Черемховского района

Что касается снеговой воды, то в ней получается уверенно определить только Ni и Cu, причем медианные концентрации Cu в Черемхово схожи с Иркутском, а Ni ниже вдвое ниже. Сопоставление обоих районов Прибайкалья с Уралом по этой компоненте снегового покрова показывает различный характер геохимической обстановки и одновременно указывает на необходимость изучения обоих компонентов снегового покрова – и твердой, и растворимой фазы, поскольку нормально охарактеризовать в картографическом виде атмогеохимическую обстановку на основе традиционного подхода по изучению снеговой воды очевидно невозможно ни в одном из изученных районов.

3.2.3. Бояхан

Бояхан – это небольшой поселок, расположенный на том же расстоянии от Иркутска, что и Черемхово (120 км), но на другом берегу р. Ангара. От Черемховского района он находится в 60 км по прямой на восток, причем прямо с подветренной стороны. Крупные промышленные предприятия отсутствуют.

В Бояхане были отобраны две пробы снега (рис. 8), причем в одной из них количество твердого осадка оказалось недостаточным для проведения рентгенофлуоресцентного анализа.

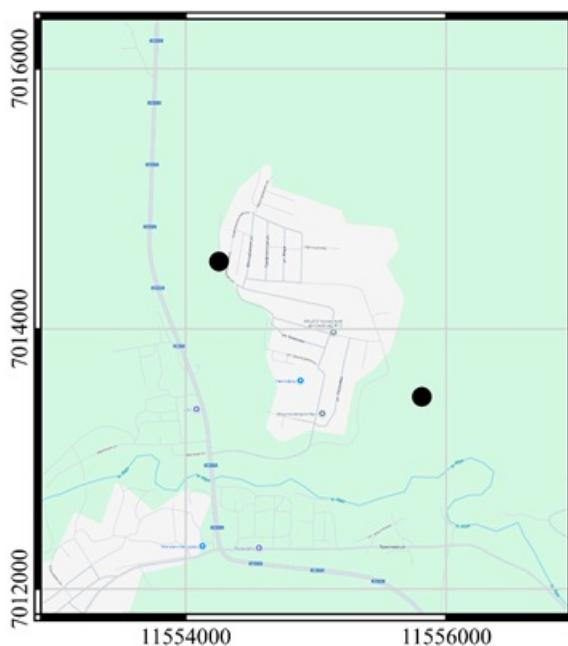


Рис. 8. Схема отбора проб в Боканском районе Иркутской области

Значения всех элементов в снеговой воде оказались ниже предела обнаружения ICP-AES. Таким образом геохимические параметры снегового остатка, приведенные в табл. 5, относятся к единственной точке, расположенной непосредственно в поселке на улице Комсомольская, тогда как вторую точку, расположенную в районе кладбища, и по смыслу являющуюся фоновой, остается невозможным охарактеризовать, что свидетельствует в пользу того, что геохимические параметры снега в района Прибайкалья, не подверженных антропогенному воздействию, находятся на очень низком уровне.

Таблица 5. Концентрации некоторых поллютантов в твердом остатке снегового покрова и снеговой воде Боканского района Иркутской области

	As, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Cu, ppm	Fe, ppm	Ni, ppm
Твердый осадок						
Значение (1 проба)	5,7	4,8	329,6	45,2	18411,0	<1
Снеговая вода						
Значение	Содержание всех элементов <НПО					

При сравнении «городского» фона Бокана с Черемховским можно отметить, что концентрации цинка и меди сравнимы, а содержания остальных элементов в Бокане кратно ниже. Следовательно, ранее выявленные концентрации As в ~8 - 9 ppm и Pb в 10 - 13 ppm всё же не являются региональным фоном Прибайкалья и не менее чем на 40-50% сформированы антропогенным воздействием. Более стабильной является ситуация с Ni – по всей видимости во всех исследованных районах Иркутской области при отсутствии антропогенных воздействий он не должен присутствовать в пробах твердого остатка в измеримых количествах.

3.2.4. Новонукутский район

Последним изученным районом Прибайкалья является Новонукутский. Он находится еще

далше от крупнейших объектов промышленного кластера Прибайкалья (~200 км от Иркутска на север), однако в самом поселке имеется гипсовый карьер и завод по производству гипсокартона. Из рисунка 9 может создаться ошибочное представление что все пробы отобраны за пределами населенного пункта, однако на самом деле три пробы отобраны в центре и на окраинах микрорайона Заречный, расположенного менее чем в километре от промышленных объектов гипсокартонного завода.

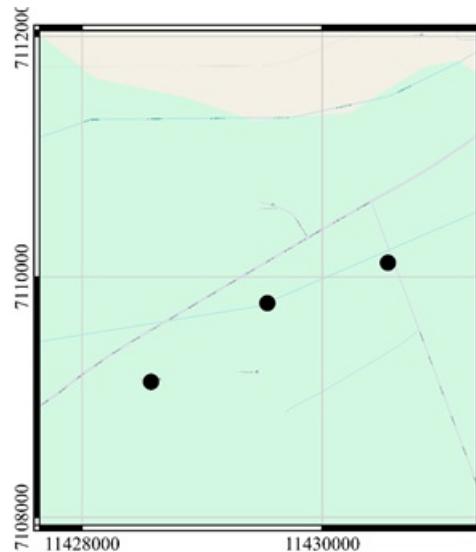


Рис. 9. Схема отбора проб в Новонукутском районе Иркутской области

Теоретически открытая карьерная разработка может формировать повышенную пылевую нагрузку в районе исследований, однако во всех трех точках пробоотбора твердого осадка в снегу оказалось очень мало (таблица 6).

Таблица 6. Концентрации некоторых поллютантов в твердом остатке снегового покрова и снеговой воде Новонукутского района Иркутской области

	As, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Cu, ppm	Fe, ppm	Ni, ppm
Твердый осадок: Количество остатка недостаточно для проведения анализа						
Снеговая вода						
Минимум	<НПО	<НПО	0,0062	<НПО	<НПО	<НПО
Максимум	<НПО	0,0032	0,0135	0,0062	<НПО	0,0011
Медиана	<НПО	<НПО	0,00985	<НПО	<НПО	<НПО

В снеговой воде удалось надежно определить только концентрацию Zn. Единично определенные концентрации Cu, Ni и Pb ниже, чем в других исследованных населенных пунктах Прибайкалья.

Таким образом полученные результаты на первый взгляд малоинформативны, однако недостаточный объем твердого остатка, не позволяющий выполнить химический анализ, для природных обстановок, можно отметить как устойчивый тренд. Замена XRF-анализа на более прецизионные методы не решит химико-аналитическую проблему, так как для кислотного разложения при проведении спектрометрических методов с индуктивно-связанной плазмой масса навески также составляет не менее пяти грамм. Следовательно, для обеспечения успешных снегогеохимических исследований потенциально ненарушенных участков, например в рамках программ предварительной

оценки фона новых участков геологического изучения недр в северных районах Иркутской области и сходных по природным условиям регионов необходимо предусмотреть отбор проб снега максимально возможного объема – желательно более 10 или даже 20 кг.

3.3. Приморье

Техногенное загрязнение окружающей среды в Дальневосточном федеральном округе формируется различными источниками воздействий – горной промышленностью, автомобильным транспортом, объектами топливно-энергетического комплекса, строительной индустрией, металлургией, предприятиями ВПК и морским и железнодорожным транспортом [35; 36]. Благодаря наличию различных по специализации и ведомственному подчинению исследовательских организаций, качество атмосферного воздуха не остается без внимания, значительное количество исследователей применяет самые разнообразные методы – от моделирования на основе стационарных систем наблюдений до исследований микроразмерных частиц в смывках с хвои растений [37-39]. Вследствие этого основные крупные города изучены хорошо, однако небольшие населенные пункты и фоновые атмогеохимические параметры геосистем исследованы недостаточно [36].

Континентальные районы Приморского края обычно характеризуются выпадением большого количества снега, вследствие чего методы снегогеохимической съемки имеют здесь значительный потенциал, однако наиболее важные для нас химические параметры твердого остатка снегового покрова по всей видимости не исследованы совершенно.

В качестве объекта настоящего исследования был выбран Спасский район, находящийся примерно 200 километрах от Владивостока на север. Город Спасск-Дальний, являющийся центром строительной индустрии Приморья, входит в число наиболее загрязненных городов региона [40], при этом в отличие от ряда других крупных населенных пунктов он не так перегружен автотранспортом: основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются Новоспасский цементный завод и АО «Спасский комбинат асбокомплектных изделий», расположенные в черте города, а также железная дорога и перевозимые по ней грузы. Его выгодное расположение, длительный период стояния снегового покрова, возможность отбора проб на расположенных рядом больших озерах формировали предпосылки для детального исследования атмогеохимии района. Однако, к сожалению, зима 2024-2025 года оказалась очень теплой [41], вследствие чего за имеющееся время качественного сезонного снега практически не удалось обнаружить, и в изучаемом районе удалось отобрать всего одну полностью кондиционную пробу – достаточного объема и без следов дополнительных по отношению к загрязнению атмосферы антропогенных влияний. Она расположена на частном участке недалеко от центра города (примерно в 1 км. от городской администрации) (рис. 10), и таким образом может корректно охарактеризовать генеральные особенности состояния атмосферы в самом населенном пункте.

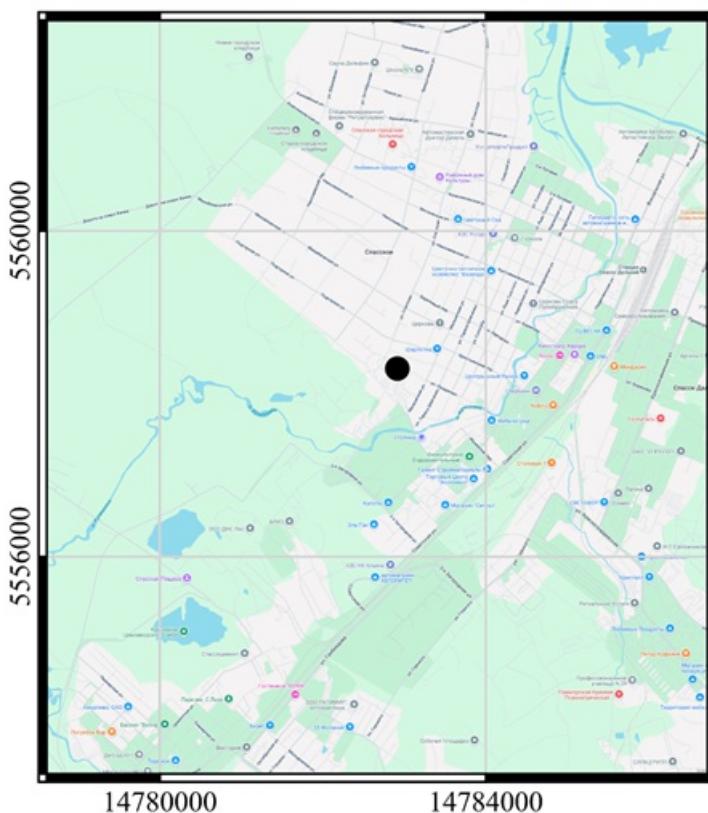


Рис. 10. Расположение точки пробоотбора в Спасском районе Приморья

В табл. 7 приведены результаты химического анализа компонентов снегового покрова.

Таблица 7. Концентрации некоторых поллютантов в твердом остатке снегового покрова и снеговой воде Спасского района Приморья

	As, ppm	Pb, ppm	Zn, ppm	Cu, ppm	Fe, ppm	Ni, ppm
Твердый осадок						
Значение	17,4	21,2	264,4	42,9	80964,8	<1
Снеговая вода						
Значение	<НПО	0,0038	<НПО	<НПО	<НПО	<НПО

Согласно полученным результатам, качество атмосферного воздуха в городе Спасск-Дальний в целом существенно лучше, чем в Иркутском районе или, тем более в Челябинске. Концентрации поллютантов в твердом остатке ближе к небольшим населенным пунктам Прибайкалья, отмечается лишь повышенные концентрации железа, что соответствует данным предшественников, которые отмечали повышенные концентрации частиц оксида железа, стали, пирита в снеге и смыве хвои [36].

В то же время растворимые формы поллютантов не обнаружены, за исключением свинца. Интересно, что повышенные концентрации как свинца, так и ряда других поллютантов (Cu, Fe) в снеговой воде Спасска отмечались в ранее процитированном исследовании. Однако точки отбора проб с такими аномальными содержаниями Cu, Fe, Pb были локализованы строго на точках, расположенных в десятках метров от железной дороги, а на более удаленных точках данных предшественников не приводятся. Наша точка пробоотбора находится в 1 – 1,5 км от железнодорожной инфраструктуры и другие известные близкие источники воздействий также отсутствуют, следовательно, по всей

видимости, пылевые загрязнения в городе имеют локальный характер. Кроме того, предшественники изучили свежевыпавший, а не сезонный снег, вследствие чего даже при полном совпадении точек отбора в результаты исследований могут не совпадать полностью, как это отмечалось во вводной части статьи. В целом локальный фон города можно считать близким к небольшим городам Прибайкалья.

4. Обсуждение результатов

В табл. 8 и 9 приведено сопоставление обнаруженных значений концентраций поллютантов для всех изученных районов в твердом остатке и снеговой воде соответственно.

Таблица 8. Вариабельность химических параметров твердого остатка сезонного снега

		Челябинск	Иркутск	Спасск	Бохан	Черемхово	Новонукутск
As	мин	51,8	7,9	17,4	5,7	8,8	Недостаточно вещества для анализа
	макс	170,6	67,0			17,4	
	медиана	111,2	37,5			11,5	
Pb	мин	169,2	10,0	21,2	4,8	13,8	
	макс	1116,0	187,7			35,6	
	медиана	642,6	98,8			24,7	
Zn	мин	2131,2	95,0	264,4	329,6	237,2	
	макс	11374,2	923,7			342,4	
	медиана	6752,7	509,3			289,8	
Cu	мин	445,8	34,5	42,9	45,2	18,3	
	макс	731,4	813,0			86,8	
	медиана	588,6	423,8			52,6	
Fe	мин	>10%	29922,3	80964,8	18411,0	21937,4	
	макс	>10%	>10%			28519,2	
	медиана	>10%	64961,2			25238,3	
Ni	мин	47,2	1,9	<1	<1	<1	
	макс	602,4	230,0			74,0	
	медиана	324,8	115,9			37,3	

Таблица 9. Вариабельность химических параметров снеговой воды

		Челябинск	Спасск	Бохан	Черемхово	Новонукутск
As	мин		<НПО	<НПО	<НПО	<НПО
	макс	0.0069				
	медиана					
Pb	мин	0.0045	<НПО	<НПО	<НПО	<НПО
	макс	0.0059	0.0038			0.0032
	медиана	0.0052	<НПО			<НПО
Zn	мин	0.0172	<НПО	<НПО	<НПО	0.0062
	макс	0.1625			0.0060	0.0135
	медиана	0.0899			<НПО	0.0099
Cu	мин	0.0017	<НПО	<НПО	0.0027	<НПО
	макс	0.0050			0.0121	0.0062
	медиана	0.0034			0.0074	<НПО
	мин					

Fe	<НПО	<НПО	<НПО	<НПО	<НПО
	макс					
	медиана					
Ni	мин	<НПО	<НПО	<НПО	<НПО	<НПО
	макс					
	медиана					

Сводная диаграмма медианных концентраций всех изученных поллютантов во всех районах (кроме Новонукутского) представлена на рис. 11.

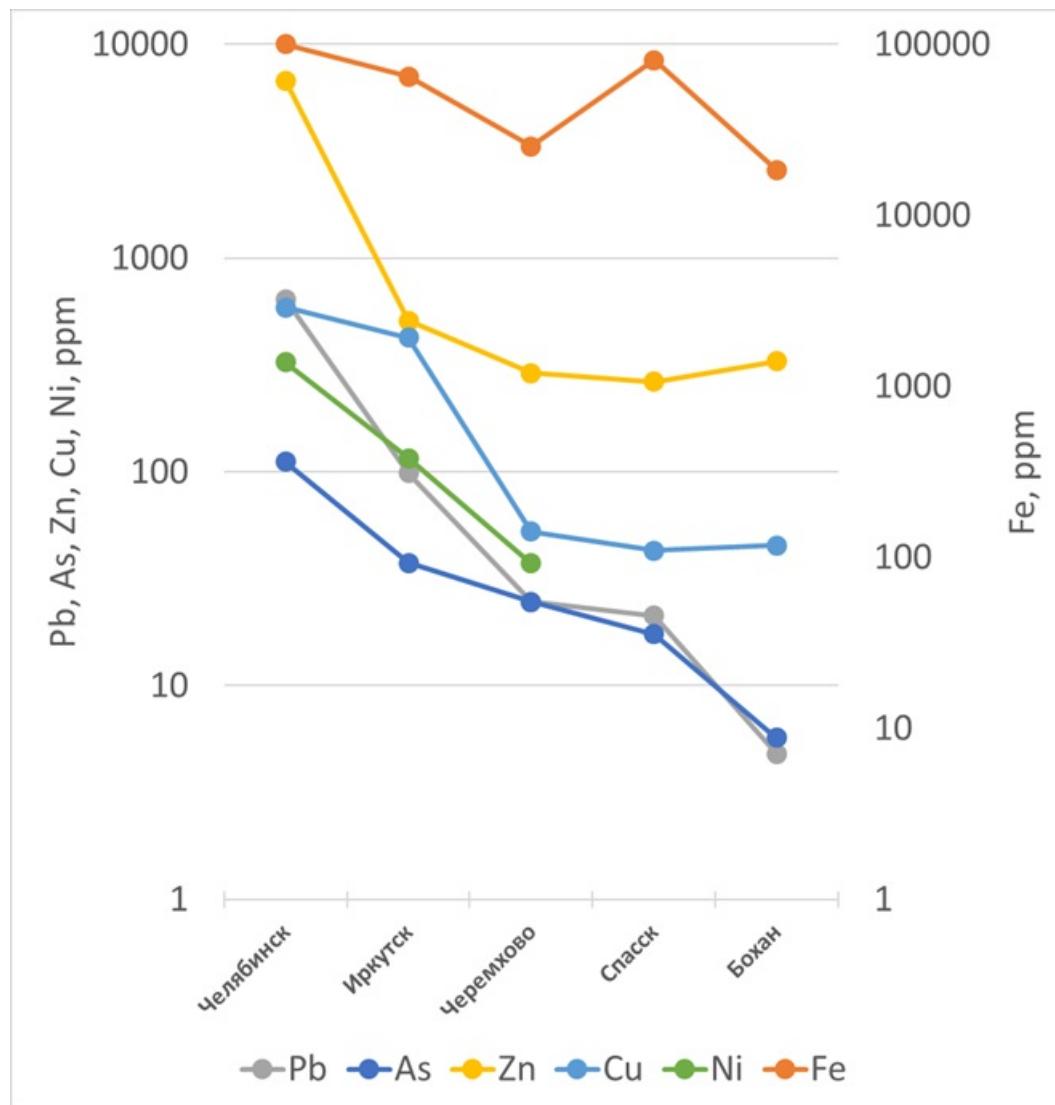


Рис. 11. Сводная диаграмма медианных концентраций всех изученных поллютантов во всех районах (кроме Новонукутского)

Представленные данные позволяют сформулировать следующие утверждения:

- 1) Абсолютным «лидером» по величине средних и медианных концентраций поллютантов в твердом остатке снегового покрова безусловно является Челябинск. Минимальные выявленные значения здесь зачастую превышают максимальные обнаруженные значения в других населенных пунктах. Минимальные значения геохимических параметров характерны для удаленных от основной производственной инфраструктуры районов Прибайкалья, и зачастую такие объекты характеризуются отсутствием возможности определения концентраций поллютантов: в твердом остатке из-за недостаточного количества остатка на фильтрах, а в снеговой воде из-за ее высокой чистоты. Первая проблема может быть преодолена за счет обора образцов снега

повышенного объема, и такую ситуацию следует заранее предусмотреть при использовании снегогеохимической съемки как метода фоновых атмогеохимических экологических исследований участков с априори отсутствующей промышленностью.

2) При попытке сформировать стандартными способами карты уровня/степени загрязнения воздуха на основе расчета коэффициентов контрастности и интегральных показателей загрязнения относительно «медианного» фона, при отсутствии в пределах планшета съемки значительного количества точек с природной геохимической обстановкой (как это почти всегда будет в районах с высоким уровнем техногенной нагрузки), исследователи могут столкнуться с тем, что степень загрязнения воздуха в населенных пунктах с фактически на порядки отличающимся количеством поллютантов в воздухе будет казаться сопоставимой. Так, в приведенных примерах во всех изученных районах коэффициенты контрастности по отношению к медианному фону находятся на примерно на одном уровне - в пределах 2-х.

3) Представленные в таблицах результаты являются осторожной попыткой решения этой проблемы за счет выявления регионального фона. При этом из сопоставления таблиц 8 и 9 совершенно очевидно, что существенно большую информативность, особенно с позиций картирования качества атмосферы, обеспечивают исследования твердого остатка снегового покрова, поскольку эти данные в подавляющем большинстве случаев характеризуются как наличием, так и значимой изменчивостью. Так, ни в одной пробе талой воды не были обнаружены измеримые концентрации железа и никеля. Только в Челябинске был один раз корректно определен мышьяк. Свинец имеет измеримую изменчивость только в Челябинске, цинк в Челябинске и Новоникитске, медь в Челябинске и Черемхово. По мнению авторов это напрямую указывает на то, что мониторинг, и особенно оценка фонового состояния новых участков в районах, не подверженных явным техногенным воздействиям, не могут быть основаны только на исследованиях растворимых форм поллютантов в снеговой воде - то есть наиболее традиционном и широко используемом подходе к снегогеохимическим исследованиям. В связи с этим и была предпринята попытка исследования вариабельности химических параметров твердого остатка для различных природно-антропогенных обстановок, так как таких опорных данных, позволяющих как-то отнести к полученным значениям концентраций (низкие они или высокие?), в литературе пока немного.

4) Однако эту попытку можно и нужно критиковать по крайней мере с двух позиций. Во-первых, приведенные в статье значения основаны на недостаточно представительной фактической базе - по различным причинам не имея возможности выполнить детальные снегогеохимические съемки, аналогичные Иркутской агломерации, во всех изучаемых районах, авторы старались выбирать единичные пробы таким образом, чтобы они наилучшим образом охарактеризовали и минимально, и максимально загрязненные участки объектов исследований, однако нет доказательств того, что это в полной мере удалось. Тем не менее нам представляется, и следует из данных и рассуждений, приведенных в работе, что по крайней мере генеральные атмогеохимические особенности различных районов и более широком смысле - различных природно-антропогенных ситуаций, зафиксировать и представить удалось. В таком случае к приведенным минимальным установленным значениям можно было бы относиться как к опорным и даже условно фоновым, однако для этого следует учесть вторую проблемную позицию, а именно то, что концентрация поллютанта в твердом остатке снегового покрова, измеренная в ppm, mg/kg и подобных величинах, сама по себе не обязательно является явным показателем степени загрязнения воздуха. Дело в том, что такой параметр не содержит в себе информацию о количестве этого остатка, вследствие чего

фактическое поступление поллютанта в единицу времени на единицу площади может меняться в широких пределах – низкая концентрация конкретного элемента в большом количестве сухого остатка будет казаться опаснее, чем высокая концентрация в минимальном объеме, хотя фактически первый случай в экологическом плане представляет гораздо большую опасность. В работе отмечается, что в районах с низким уровнем техногенной нагрузки сухого остатка может быть мало или практически не иметься совсем, а в таком случае минимальное привнесение поллютанта даст очень высокую его концентрацию. Эти особенности и способы работы с ними описаны в литературе [42], и их следует обязательно учитывать. Однако для мониторинговых исследований района, целью которых является фиксация изменений обстановки, при постоянной сети пробоотбора, параметров концентраций может быть достаточно.

5. Выводы

Авторы надеются, что несмотря на ограниченный объем фактического материала им удалось достаточно наглядно охарактеризовать генеральные особенности поведения поллютантов в различных компонентах снегового покрова для характерных техногенных и природно-техногенных обстановок, выявить и представить некоторые характерные ситуации, с которыми исследователи столкнутся на практике, а именно:

- 1) Показано, что во всех случаях - и в условиях высокой нагрузки, и на фоновых территориях - для корректной характеристики состояния атмосферы совершенно необходимо исследовать не только снеговую воду, но и твердый остаток.
- 2) При исследовании твердого остатка исследователи столкнутся с двумя проблемами - возможно недостаточный объем материала для химико-аналитических исследований на участках, не подверженных серьезному техногенному влиянию или естественной высокой пылевой нагрузке, и сложность интерпретации измеренного параметра концентрации как экологической характеристики. Для решения обеих проблем даны соответствующие рекомендации.
- 3) Приведены ориентировочные "фоновые" параметры и пределы их изменчивости для ряда районов восточной части Евразии. Показаны закономерности поведения химических характеристик в различных природно-антропогенных обстановках. Эти данные позволяют пополнить существующий теоретический базис атмогеохимических геоэкологических исследований, поскольку к приведенным данным можно относиться как к научному обоснованию при расчете коэффициентов контрастности и комплексных показателей загрязнения. Особенно важны выявленные параметры твердого остатка - в связи с объективным дефицитом научных данных о его "нормальных" и "аномальных" концентрациях для различных районов и уровней загрязнения атмосферы.
- 4) На основе сопоставления данных о различных районах охарактеризовано качество воздуха в Челябинске, Иркутском районе, ряде населенных пунктах Байкальского региона и в Спасском районе Приморья. Показано, что загрязнение атмосферы Челябинска тяжелыми металлами и мышьяком кратно превосходит другие населенные пункты, даже вродящие в российский антирейтинг качества воздуха. Показано, к каким уровням химических параметров можно относиться как к достаточно универсальным, поскольку они устойчивы и наблюдены в различных районах.

Представляется, что дальнейшее постепенное дополнение публичных научно-литературных источников новыми данными о снегогеохимии различных районов и регионов позволит сформировать необходимый научно-методологический базис для широкого применения снегогеохимии не только в научных, но и в кондиционных

экологических исследований и изысканиях, так как станет возможным обоснованно судить о нормальности или аномальности зафиксированных параметров для региона, района, контурного объекта.

Библиография

1. Розумная Л.А., Кураева О.П. Экологический мониторинг атмосферного воздуха в современной системе управления качеством окружающей среды // Социальная политика и социология. 2013. № 6-2(101). С. 83-91. EDN: SXLCQJ.
2. Поздняков М.В., Мазилов С.И., Райкова С.В. и др. Оценка качества атмосферного воздуха в разных странах (обзор) // Экология человека. 2023. № 5. С. 325-339. DOI 10.17816/humeco456406. EDN: VJISTF.
3. González L., Montilla-Rosero E. Evaluation of In-Situ Low-Cost Sensor Network in a Tropical Valley, Colombia // Sensors. 2025. 25. 1236. DOI 10.3390/s25041236.
4. Mehadi A., Moosmüller H., Campbell D.E., Ham W., Schweizer D., Tarnay L., Hunter J. Laboratory and field evaluation of real-time and near real-time PM2.5 smoke monitors // J. Air Waste Manag. Assoc. 2020. 70. Pp. 158-179. DOI 10.1080/10962247.2019.1654036. EDN: AJGFWP.
5. Wang Z., Tan Y., Guo M., et al. Prospect of China's ambient air quality standards // J Environ Sci (China). 2023. 123. Pp. 255-269. DOI 10.1016/j.jes.2022.03.036. EDN: KXZPSY.
6. Zexi J., Yunchuan G., Huaxing C., Weixia D., Xu Y., Cancan Y., Yueying F., Ya C. Characteristics of ambient air quality and its air quality index (AQI) model in Shanghai, China // Science of The Total Environment. 2023. 896. 165284. DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.165284. EDN: REMDHO.
7. Бударина О.В., Сабирова З.Ф., Шипулина З.В. Международный опыт нормирования пахучих веществ в атмосферном воздухе (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101, № 12. С. 1476-1481. DOI 10.47470/0016-9900-2022-101-12-1476-1481. EDN: GCNCWZ.
8. Зайцева Н.В., Май И.В. Новые механизмы нормирования выбросов в атмосферу: концептуальный взгляд на перспективы и проблемы с позиций обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения // Анализ риска здоровью. 2020. № 2. С. 4-15. DOI 10.21668/health.risk/2020.2.01. EDN: NAQSMX.
9. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В. и др. Оценка экологического состояния снежного покрова в 30-километровой зоне Новолипецкого металлургического комбината // Экология промышленного производства. 2021. № 2(114). С. 34-40. DOI 10.52190/2073-2589_2021_2_34. EDN: DLHFDF.
10. Корняков М.В., Красикова Т.Ю., Паршин А.В., Шевченко А.Н. Как определить эффективность работы научно-образовательного кластера вуза: кейс ИРНИТУ-Институт "Сибирская школа геонаук" // ЭКО. 2024. № 4(598). С. 222-242. DOI 10.30680/ECO0131-7652-2024-4-222-242. EDN: XSNGLA.
11. Качор О.Л., Паршин А.В., Икрамов З.Л. и др. О результатах исследований качества атмосферного воздуха в микрорайоне Иркутск-2 и поселке Боково (г. Иркутск, Юго-Западное Прибайкалье) методом снегогеохимической съемки // Науки о Земле и недропользование. 2025. Т. 48, № 1(90). С. 6-23. DOI 10.21285/2686-9993-2025-48-1-6-23. EDN: NOSJSD.
12. Трусова В.В., Качор О.Л., Паршин А.В. и др. Оценка состояния качества атмосферного воздуха города Усть-Кут Иркутской области на основании снегогеохимической съемки // Технологии переработки отходов с получением новой продукции: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 30 ноября 2022 года. Киров: Вятский государственный университет, 2022. С. 218-221. EDN: OPNGBB.

13. Качор О.Л., Паршин А.В., Трусова В.В., Курина А.В., Икрамов З.Л. Оценка качества атмосферного воздуха в районе будущего экотехнопарка "Восток" (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область) по данным снегогеохимической съемки // Арктика и Антарктика. 2025. № 2. С. 15-34. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.2.73789 EDN: QTTSLM URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73789
14. Кузнецова О.В., Качор О.Л., Матюхин И.А. и др. Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ как современная альтернатива традиционным спектральным методам при решении задач геохимических поисков // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46, № 4(85). С. 390-401. DOI 10.21285/2686-9993-2023-46-4-390-401. EDN: XMXYIB.
15. Худякова Т.А., Павленко Е.Ф. Синоптические условия формирования высокого и экстремально высокого уровня загрязнения атмосферы г. Челябинска // XX Уральские Бирюковские чтения. Краеведческие поиски и находки: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения В.П. Бирюкова, Челябинск, 29 ноября 2013 года. Челябинск: Абрис, 2013. С. 326-333. EDN: WXWYHB.
16. Dolgushina N.A., Kuvshinova I.A. Air Pollution and Noncancerogenic Risks Assessment in Industrial Cities of Chelyabinsk Region // Ekologiya cheloveka [Human Ecology]. 2019. 6-7. pp. 17-22. DOI 10.33396/1728-0869-2019-6-17-22. EDN: AHPZTI.
17. Ячменева Н.В., Гольвей А.Ю. Повторяемость инверсий и их влияние на уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Челябинске // Вестник ЧелГУ. 2011. № 5. С. 84-89.
18. Антонова В.М. Обзор исследований оценки аэротехногенной нагрузки на территорию г. Челябинска // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященный 90-летию со дня рождения Н.М. Рассказова, 120-летию со дня рождения Л.Л. Халфина, 50-летию научных молодежных конференций имени академика М.А. Усова, Томск, 04-08 апреля 2022 года. Т. 1. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. С. 255-256. EDN: KIVZXN.
19. Даванков А.Ю., Гордеев С.С., Двинин Д.Ю. Экологическая оценка городских территорий // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. 2015. № 2. С. 43-49. EDN: UHTBTVN.
20. Мельниченко М.А. Применение метода рентгенофлуоресцентной спектрометрии для определения содержания токсикантов в снежном покрове и их влияние на здоровье детей // Forcipe. 2021. Т. 4, № S1. С. 503-504. EDN: ZRRFFG.
21. Антонова В.М. Сравнительный анализ химического состава аэрозоля в г. Москва и г. Челябинск // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 160-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 140-летию академика М.А. Усова, основателям Сибирской горно-геологической школы, 3-7 апреля 2023 г., г. Томск. Т. 1. 2023. С. 202-203 и др. EDN: CESYTK.
22. Сибиркина А.Р., Погодина А.А. Анализ снега с озера Смолино Челябинской области как способ получения оперативной информации о качестве атмосферного воздуха в промышленном городе // БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ. 2020. С. 199. EDN: HTZZTP.
23. Filimonova L.M., Bychinskii V.A., Parshin A.V. Air pollution assessment in the area of aluminum production by snow geochemical survey // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 40, No. 10. P. 691-698. DOI 10.3103/S1068373915100076. EDN: VALHAZ.
24. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. Утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 15 мая 1990 г., № 5174-90, Главное

- санитарно-профилактическое управление МЗ СССР. 17 с.
25. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В. и др. Загрязнение атмосферы и содержание фтора в снеге на акватории оз. Байкал // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 735. EDN: UZJITD.
26. Холодова М.С., Пастухов М.В., Полетаева В.И. Особенности минерально-вещественного состава твердофазных выпадений снегового покрова территории г. Свирска // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 4 (57). С. 109-118. DOI 10.21285/0130-108X-2016-57-4-109-118.
27. Холодова М.С., Пастухов М.В., Бычинский В.А. и др. Минерально-вещественный состав твердого осадка снегового покрова в различных функциональных зонах г. Усолье-Сибирское // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 9. С. 219-230. DOI 10.18799/24131830/2022/9/3687. EDN: IXLWDW.
28. Филимонова Л.М. Исследование геоэкологических особенностей снегового покрова в зоне влияния алюминиевого завода с использованием метода физико-химического моделирования. Автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.36; [Место защиты: Ин-т геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН]. Иркутск, 2017. 20 с. EDN: CEXEOC.
29. Просекин С.Н., Филимонова Л.М., Бычинский В.А. Опыт геоинформационного картографирования результатов снегогеохимической съемки // Материалы VII Международной студенческой научной конференции "Студенческий научный форум". URL: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015016353>.
30. СП 502.1325800.2021 "Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ".
31. Клюев Н.Н. Качество атмосферного воздуха российских городов в 1991-2016 гг. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 1. С. 14-23. DOI 10.31857/S2587-55662019114-23. EDN: ZAWKWD.
32. Зайкова З.А., Бобкова Е.В. Характеристика малых и средних городов Иркутской области по уровням первичной заболеваемости детей и загрязнения атмосферы // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31, № 10. С. 54-61. DOI 10.35627/2219-5238/2023-31-10-54-61. EDN: LDUOTU.
33. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В. и др. Загрязнение атмосферы и содержание фтора в снеге на акватории оз. Байкал // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 735. EDN: UZJITD.
34. Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф. Оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района в Восточной Сибири // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101, № 12. С. 1443-1449. DOI 10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449. EDN: BPWYLC.
35. Филатова М.Ю. Геоэкологическая оценка состояния окружающей среды в границах влияния горных предприятий Дальнегорского района Приморского края: специальность 25.00.36 "Геоэкология (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М.Ю. Филатова. Тула, 2021. 253 с. EDN: ICWGGA.
36. Холодов А.С. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферы малых и средних населенных пунктов Приморского края микроразмерными частицами: специальность 25.00.36 "Геоэкология (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Холодов Алексей Сергеевич. Владивосток, 2019. 184 с. EDN: ZSMTLL.
37. Веремчук Л.В., Янькова В.И., Виткина Т.И., Барскова Л.С., Голохваст К.С. Формирование загрязнения атмосферного воздуха города Владивостока и его влияние

- на распространение болезней органов дыхания // Сибирский научный медицинский журнал. 2015. № 4. Т. 35, № 4. С. 55-61. EDN: UGBCCD.
38. Филонова Е.А., Холодов А.С., Чайка В.В. и др. Угольные терминалы в Приморском крае - источник микроразмерного загрязнения атмосферы // Проблемы региональной экологии. 2016. № 5. С. 104-106. EDN: XRJYUL.
39. Кодинцев В.В., Дрозд В.А., Серёдкин И.В., Холодов А.С., Анисимов Н.Ю., Голохваст К.С. Ультразвуковой смыв с хвои как новый достоверный способ исследования микроразмерного загрязнения атмосферы // Бюл. физ. и пат. дых. 2017. № 65. С. 90-93. DOI 10.12737/article_59acefad173a0.77430776. EDN: ZGUGMP.
40. Наумов Ю.А., Подкопаева О.В. Особенности, тенденции и последствия загрязнения атмосферы городов Приморского края // Территория новых возможностей. 2013. № 4 (22). С. 155-171. EDN: SAKPCT.
41. Бирман Б.А. Основные погодно-климатические особенности Северного полушария Земли. Экспресс-анализ. Москва, 2025. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации". URL: <https://meteoinfo.ru/images/climat-anomalii-tabl/2024-annual/2024-annual-review.pdf>.
42. Качор О.Л., Икрамов З.Л., Горячев И.Н., Трусова В.В., Паршин А.В. О рациональной методике геоинформационного картографирования при исследовании загрязнения атмосферы методом анализа твердого остатка в сугробах (на примере обособленных районов г. Иркутска, южное Прибайкалье) // Арктика и Антарктика. 2025. № 3. С. 1-22. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.3.74200 EDN: NYTYKK URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=74200

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом изучения статьи является экспресс-оценка качества атмосферного воздуха в населенных пунктах Восточной Евразии по результатам снегогеохимических исследований.

Поскольку, особого внимания в статье не уделяется описанию методов экспресс-оценки качества воздуха в регионе, поэтому предлагаем немного изменить название статьи, например: «Снегогеохимическая оценка качества атмосферного воздуха в населенных пунктах Восточной Евразии».

Актуальность исследования. Для изучения и мониторинга качества воздуха в регионах с длительной зимой и устойчивым сугробным покровом используется метод снегогеохимической съемки. Снег как депонирующая среда абсорбирует в себе самые разнообразные загрязнители, он лежит несколько месяцев и поэтому дает информативную оценку нагрузки в целом, его можно изучить на большое количество химических, физических и минералогических показателей, отбор не требует сложной аппаратуры, а детальность исследований в пространственном отношении может быть очень высокой. Исследование состояния и возможного загрязнения атмосферного воздуха является актуальным и одним из важнейших компонентов систем управления качеством окружающей среды и прогнозирования ее изменений.

В данной работе был изучен химический состав твердого остатка и сугубой воды, осуществлена сопоставительная оценка медианных и предельных концентраций между несколькими объектами на Урале, в Прибайкалье, и в Приморье, выполнен анализ особенностей снегогеохимической обстановки. В результате сформирован совершенно

не исчерпывающий, но всё же достаточно достоверный и по мнению авторов полезный для широкого круга исследователей базис для проектирования и интерпретации результатов снегогеохимических исследований.

Методология исследования основана на применении методов снегогеохимической оценки качества атмосферного воздуха. Отбор проб осуществляли с учетом требований ГОСТ Р 70282-2022 «Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Общие требования к отбору проб льда и атмосферных осадков». Пробы отбирали с открытых площадок, расположенных на удалении от источников ло-кальных воздействий. После таяния снега и фильтрации снеговой воды осуществлялся химический анализ твердого остатка на фильтрах и отфильтрованной талой воды. Объем талой воды до фильтрации и масса твердого остатка на фильтрах измерялись, твердый остаток высушивался при комнатной температуре и взвешивался с помощью лабораторных весов Analytical XP204 с чувствительностью $\pm 0,1$ мг. Анализ твердого остатка проводился методом рентгенофлуоресцентного анализа. Анализ снеговой воды осуществлялся методом ICP-AES. Оценивались поллютанты первого и второго класса опасности веществ, попадающих в среду из выбросов: As, Pb, Zn, Cu, Ni и Fe.

Научная новизна авторами в статье не указана. Следует отметить, что применяемые методы мониторинга атмосферных загрязнений описаны были ранее в научных статьях других авторов.

Стиль статьи – описательно-обобщающий с элементами научного текста. Объём материала достаточный. Однако структура статьи не полностью соответствуют требованиям журнала «Арктика и Антарктика». В разделе 2 «Объекты и методы исследований» автор уходит от темы статьи, описывая «стандартный для института «Сибирская школа геонаук» ИРНИТУ подход к реализации базовых образовательных программ с участием студентов в реальных проектах, начиная с первого курса». Не стоит подробно описывать в данной статье эффективность освоения студентами геоинформационных технологий, это отдаляет автора и читателей от темы статьи. Кроме того, в данной статье не обозначен раздел «Выводы». Автор делает заключение по статье, но выводы в нем не конкретные, с очень объёмными формулировками.

В тоже время, достоинством статьи является достаточный табличный, иллюстративный и графический материал, что делает ее более доступной к восприятию и анализу.

Библиография статьи солидная и включает в себя 42 литературных источника, в том числе 5 - на иностранном языке. Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на литературные источники.

Выводы в статье предлагается сформулировать на основании полученных данных о загрязнении территорий населенных пунктов поллютантами первого и второго класса опасности веществ As, Pb, Zn, Cu, Ni и Fe. Указать конкретные концентрации этих веществ, обнаруженных при анализе снега.

Практическая значимость работы несомненна. Полученные результаты исследований могут быть использованы для экологической оценки изучаемых территорий.

Данная статья может быть полезна широкому кругу ученых и специалистов. Статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после доработки.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предмет исследования являются, по мнению автора, экспресс-оценка качества атмосферного воздуха в нескольких населенных пунктах Восточной Евразии по

результатам снегогеохимических исследований.

Методология исследования автором статьи указана исходя из возможностей отбора проб по стандартной методике с учетом требований ГОСТ Р 70282-2022 «Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Общие требования к отбору проб льда и атмосферных осадков». Пробы отбирались с открытых площадок, расположенных на удалении от явных источников локальных воздействий, с помощью пластиковых лопаток, затем помещались в полиэтиленовые мешки. Объем отбиравшегося снега фиксировался (измеряется глубина снегового покрова и площадь лунки). Анализ проб осуществлялся в Химико-аналитической лаборатории Сибирской школы геонаук, аккредитованной в установленном порядке в соответствии с ISO/IEC 17025-2019. После таяния снега и фильтрации снеговой воды осуществлялся химический анализ твердого остатка на фильтрах и отфильтрованной талой воды. Объем талой воды до фильтрации и масса твердого остатка на фильтрах также измерялись, твердый остаток высушивался при комнатной температуре и взвешивался с помощью лабораторных весов Analytical XP204 с чувствительностью $\pm 0,1$ мг. Анализ твердого остатка проводился методом рентгенофлуоресцентного анализа. Анализ снеговой воды осуществлялся методом ICP-AES. Использованы общенаучные методы синтеза и анализа, интерпретации данных, математические и статистические методы исследования.

Актуальность затронутой темы связано с тем, что анализ литературных источников показал, что исследование на основе проведенных исследований современный уровень отношения к вопросам геэкологии и охраны окружающей среды требует достоверной оценки фоновых состояний качества атмосферы и их научно обоснованного мониторинга не только на существующих промышленных объектах, но и уже на первых стадиях хозяйственного освоения новых территорий.

Научная новизна статьи очевидна, так как автором рассматривается на основе проведенных расчетов возможность получить оценку концентрации в условиях высокой нагрузки, и на фоновых территориях - для корректной характеристики состояния атмосферы совершенно необходимо исследовать не только снеговую воду, но и твердый остаток. Приведены ориентировочные "фоновые" параметры и пределы их изменчивости для ряда районов восточной части Евразии. Показаны закономерности поведения химических характеристик в различных природно-антропогенных обстановке, охарактеризовано качество воздуха в Чулябинске, Иркутском районе, ряде населенных пунктах Байкальского региона и в Спасском районе Приморья.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья снабжена иллюстративным материалом в виде картосхемы, графиков, рисунков и расчетных материалов.

Однако в статье имеются ряд стилистических ошибок, требующих корректировки. Например: в различных природно-антропогенных обстановках. дополнение публичных научно-литературных источников, пунктах Байкальского региона.

Библиография весьма исчерпывающая для постановки рассматриваемого вопроса.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся информации, полученной автором в результате анализа.

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах есть обобщения, позволяющие применить полученные результаты. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.