

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

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. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.2.73789 EDN: QTTSML URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73789

Оценка качества атмосферного воздуха в районе будущего экотехнопарка "Восток" (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область) по данным снегогеохимической съемки

Качор Ольга Леонидовна

доктор технических наук

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

664074, Иркутск, ул. Академика Курчатова, 3

✉ olgakachor@geo.istu.edu



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



Трусова Валентина Валерьевна

кандидат технических наук

старший научный сотрудник; Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, Иркутск, ул. Академика Курчатова, 3

✉ wtrusova@geo.istu.edu



Курина Анастасия Владимировна

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

664074, Иркутск, ул. Академика Курчатова, 3

✉ kurinanaya@geo.istu.edu



Икрамов Зиевиддин Лутфиддин угли

аспирант; Сибирская школа геонаук; Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, Иркутск, ул. Академика Курчатова, 3

✉ ziyoviddin.ikramov1992@gmail.com

[Статья из рубрики "Инженерная геология холодных равнинных и горных регионов"](#)**DOI:**

10.7256/2453-8922.2025.2.73789

EDN:

QTTSLM

Дата направления статьи в редакцию:

22-03-2025

Дата публикации:

16-04-2025

Аннотация: Предметом работы является развитие методики снегогеохимических исследований для эффективной экспрессной оценки качества атмосферного воздуха в условиях техногенного воздействия от различных промышленных источников, формирующих комплексное загрязнение окружающей среды, а также создание информационно-картографической основы для дальнейшего экологического мониторинга значимого района Байкальского региона. На примере детальной оценки загрязнения атмосферы в районе строительства экотехнопарка "Восточный" производится сопоставительный анализ информативности картограмм распределения загрязняющих веществ в снеговой воде и в твердом остатке. На рассматриваемой территории находятся различные источники техногенных воздействий – от металлургического предприятия до объектов теплоэнергогенерации, в связи с этим данный кейс отлично характеризует преимущества метода снегогеохимической съемки как наиболее представительного способа оценки загрязнения атмосферы в задачах экологического мониторинга "зимних" регионов, снятия экологических рисков с новых горных проектов в северной части Евразии, контроля производственной деятельности в городах с устойчивым снежным покровом. Оптимизация данного вида геоэкологических исследований является весьма актуальной задачей. Произведен отбор проб сезонного снега, таяние и фильтрация снеговой воды с целью разделения растворимых и нерастворимых форм поллютантов. Выполнен химический анализ снеговой воды и твердого остатка. Определены ассоциации элементов, отвечающие различным источникам воздействий. Представлены картографические материалы, характеризующие распределение поллютантов на площади. Исследование позволяет наглядно сравнить результаты, получаемые по традиционной, но затратной методике анализа снеговой

воды с помощью прецизионных химико-аналитических методов ICP-AES/MS, и по экспрессной и дешевой методике анализа твердого остатка с помощью неразрушающего анализа XRF. Показано, что второй способ также является весьма информативным, он позволяет с минимальными затратами детально охарактеризовать геоэкологическую обстановку на значительной площади, выявить и закартировать зоны с аномальными по техногенным причинам состоянием атмосферы. В результате дана наиболее детальная в пространственном отношении характеристика загрязнения воздуха в районе г. Усолье-Сибирское, который является постоянным объектом внимания со стороны государственных органов экологического контроля как рекультивируемый объект накопленного вреда окружающей среде и одновременно перспективная производственная площадка. Описанные методические подходы применимы для широкого перечня геоэкологических ситуаций в регионах с длительной зимой.

Ключевые слова:

загрязнение атмосферы, снегогеохимическая съемка, экологический мониторинг, тяжелые металлы, снеговой покров, оценка фонового состояния, ртуть, Усолье-Сибирское, качество воздуха, объекты накопленного вреда

Введение

Байкальская природная территория относится к уникальным геосистемам мира и в то же время испытывает существенное антропогенное воздействие – как вследствие ведущейся в настоящее время хозяйственной деятельности, так и вследствие негативного влияния заброшенных промышленных объектов прошлого. Эффективные программы экологического мониторинга и достоверные данные, на основе которых можно принимать объективные управленческие решения, критически важны для сохранения этой уникальной экосистемы и обеспечения высокого качества жизни людей. Особое значение для устойчивого развития Прибайкалья имеет решение проблемы объектов накопленного вреда окружающей среде, которая включает рекультивацию уже известных объектов, выявление новых объектов, оценку и мониторинг их влияния на окружающую среду с учетом региональных и локальных эколого-геохимических особенностей природной среды региона.

Одним из наиболее известных объектов накопленного вреда окружающей среде в Прибайкалье, находящимся под пристальным вниманием органов власти и журналистов, является город Усолье-Сибирское – один из старейших городов Сибири, расположенный в 70 км к северо-западу от областного центра – города Иркутск на левом берегу реки Ангары, с населением 75 тыс. человек, являющийся крупным промышленным центром Восточной Сибири. На территории Усо́лья-Сибирского действуют предприятия различных индустрий - ООО «Усо́льмаш» (предприятие по производству горно-шахтного, обогащительного и металлургического оборудования), СХПК «Усо́льский свинокомплекс» (мясоперерабатывающий комбинат), предприятия по производству строительных материалов, предприятия лесопереработки, теплоэнергетики и др.

Также на территории города находится промплощадка завода «Усо́льехимпром» по производству хлора и каустика ртутным методом, проработавшего с 1936 по 2017 годы. Промплощадка завода расположена в северной и северо-восточной части города и занимает 610 гектаров. За время работы цеха ртутного электролиза общее поступление ртути в окружающую среду составило по разным оценкам от 1354 до 1396 тонн, при этом

в воздушный бассейн поступило 62–78 тонн, в Братское водохранилище –50–76 тонн [1]. После прекращения эксплуатации цеха ртутного электролиза в 1998 году суммарный объем ртути поступающей в водохранилище снизился [2], но промплощадка продолжала наносить негативное воздействие на окружающую среду из-за аварийных корпусов завода, шламонакопителя [3] и большого количества отходов, оставшихся на территории предприятия [4], также источниками поступления загрязняющих веществ в Братское водохранилище стали донные отложения, поверхностный сток и сточные воды с Усольской промышленной зоны [5].

О негативном влиянии бывшей промплощадки на различные объекты окружающей среды свидетельствуют многочисленные работы, посвященные изучению микро- и макроэлементного состава воды, донных отложений, фитопланктона, зоопланктона, рыбе Братского водохранилища, почвы, снегового покрова, сточных и талых вод с промплощадки, накоплению ртути высшими растениями, грибами, водными растениями [6-21].

Завод практически прекратил свою деятельность в 2014 году, в 2017 году был признан банкротом, при этом на территории осталось примерно 1,7 млн тонн химических отходов, включая ртуть, хлорорганические соединения и токсичные вещества, которые хранились без надлежащего контроля [22]. После полного прекращения работы предприятия в 2017 году площадь территории загрязнения составила 1608 га, объём накопленных отходов – 4,3 млн м³ [23]. При отсутствии должных мероприятий по демеркуризации отходов в городе сложилась катастрофическая экологическая обстановка, которая потребовала введения режима ЧС регионального уровня с октября 2018 года из-за опасности утечек ядовитых веществ с предприятия. Приказом Минприроды России от 29.07.2020 № 507 «Территория, на которой в прошлом осуществлялась экономическая деятельность, связанная с производством химических веществ и химических продуктов на территории городского округа г. Усолье-Сибирское» включена в государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде (НВОС). Работы по ликвидации накопленного вреда окружающей среде – бывшее предприятие ООО «Усольехимпром» и загрязнённая территория г. о. Усолье-Сибирское – проводит Федеральный экологический оператор (предприятие госкорпорации «Росатом»). В 2020-2021 годах произведена ликвидация наиболее сложных объектов на промышленной площадке: переведены в безопасное состояние и перезатарены 17 аварийных цистерн, ликвидированы 12 скважин рассолопромысла и цех ртутного электролиза. В настоящее время демонтировано более 90 % общего объема надземных и подземных частей зданий и сооружений [24].

Несмотря на проводимые работы и снижение количества загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду с промплощадки, территория завода продолжает оказывать негативное влияние на окружающую среду, в том числе, за счет веществ, накопленных в объектах окружающей среды за годы функционирования предприятия [25-33]. В 2023 году по данным мониторинга реки Ангара на участке гг. Усолье-Сибирское — Свирск в створах наблюдений, расположенных в черте и ниже города, отмечаются среднегодовые концентрации ртути, превышали ПДК. В воде водохранилища Братского (р. Ангара) в районе г. Усолье-Сибирское в створах наблюдений, расположенных в черте и ниже города зарегистрировано 5 случаев экстремально высокого загрязнения ртутью [34]. Среди поллютантов, помимо ртути, также встречаются в значительной концентрации мышьяк, свинец, цинк, медь и никель, которые переносятся с осадками и другими природными процессами по окружающей территории, включая жилые зоны.

Таким образом уровень загрязнения окружающей среды остаётся высоким [25-33].

Особое значение на современном этапе развития систем экологического мониторинга и контроля имеет качество атмосферного воздуха, решение проблем загрязнения которого является одним из приоритетных направлений в соответствии с национальным проектом «Экологическое благополучие», включающим федеральный проект «Чистый воздух». Воздух как объект окружающей среды оказывает наибольшее влияние на здоровье населения, т.к. контакт с ним непрерывен, и в случае загрязнения атмосферы поллютанты могут переноситься на значительные расстояния от источника воздействий.

В г. Усолье-Сибирское на состояние атмосферного воздуха оказывают влияние как объект накопленного вреда окружающей среде, так и действующие в городе 34 предприятия и объекты ТЭК [35]. Так, по данным [36] город входил в список 33 населенных пунктов с оценкой степени загрязнения атмосферного воздуха, соответствующей значению $ИЗА \geq 14$ (очень высокий). К основным примесям, вносящим наибольший вклад в загрязнение атмосферы города, относятся бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные вещества [34]. Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят предприятия теплоэнергетики [34], сельского хозяйства, машиностроения, площадки для хранения отходов производства и потребления IV-V классов опасности [35], автотранспорт.

В то же время город Усолье-Сибирское рассматривается как перспективный научно-производственный центр, в его пределах в настоящее время ведутся работы по созданию Федерального центра химии [37, 38]. В рамках национального проекта «Экология» и федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I-II классов» на территории промплощадки планируется строительство экотехнопарка «Восток», который будет перерабатывать отходы и возвращать полезные компоненты в хозяйственный оборот. Считается, что это позволит минимизировать вредное воздействие на окружающую среду и создать не менее 6000 рабочих мест для жителей города (Вести-Иркутск https://vk.com/video-35929536_456264362). Безусловно, новые производства станут объектом экологического мониторинга, для обеспечения которого весьма желательно изучить фоновое состояние атмосферного воздуха, которое, как было отмечено выше, уже характеризуется высоким уровнем загрязнения.

Поскольку Усолье-Сибирское расположено в северном регионе, с продолжительной зимой и устойчивым сезонным снежным покровом, то наиболее эффективным способом комплексной и детальной в геопространственном отношении оценки загрязнения воздуха является изучение распределения поллютантов в жидкой и твердой фазе сезонных проб снега. Данная работа посвящена изучению текущего состояния атмосферного воздуха в г. Усолье-Сибирское в преддверии значительных изменений в хозяйственной деятельности муниципального образования для создания базовой информационно-картографической основы для обеспечения дальнейших режимных наблюдений.

Методы исследования

Исследования снегового покрова являются одним из универсальных способов контроля за состоянием приземной атмосферы, позволяющим дать комплексную характеристику состояния атмосферного воздуха и антропогенного загрязнения окружающей среды, в связи с чем такой подход широко используется во многих «зимних» городах и районах [39-49]. Снег адсорбирует из воздуха значительную часть загрязняющих веществ: аэрозоли (в т. ч. пыль), газы, тяжелые металлы, как во время снегопада, так и в

периоды залегания, в результате чего минеральные и органические вещества накапливаются в однородном естественном субстрате, сохраняясь до периода таяния в неизменном виде. По составу снежного покрова возможно надежно установить устойчивую структуру атмосферных выпадений, учитывая ландшафтно-климатические условия, и идентифицировать антропогенные источники воздействия. Необходимо отметить, что ряд исследователей уже применяли для изучения качества воздуха в городе Усолье-Сибирское методы снегогеохимических исследований, однако проводимое исследование является существенно более детальным,

В 2023-2024 года в период максимального накопления влагозапаса в снежном покрове был проведен отбор проб снега с целью выявления загрязнения атмосферного воздуха в г. Усолье-Сибирское. В 2023 г. 25 февраля было отобрано 52 пробы по пяти маршрутам (рис. 1), в 2024 г. 9 марта отобрано 70 проб снега (рис. 2). Также на значительном удалении от жилых домов и дорог в лесной зоне была отобрана фоновая проба (рис. 1, 2).

Пробоотбор снега произведён с учётом требований ГОСТ Р 70282-2022 «Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Общие требования к отбору проб льда и атмосферных осадков». Отбор проб производился на участках размером от 5x5 м до 10x10 м методом «конверта». Пробы отбирались на всю мощность из шурфов лопатами из химически стойкого полимерного материала, при этом с поверхности удалялся мусор (листья, ветки и др.), исключалось попадание в образец частиц почвы. Из отобранных проб с одного участка составлялась объединенная проба, весом не менее 10 кг, которая помещалась в емкость из химически стойкого полимерного материала (полиэтиленовый пакет) и маркировалась.

Пробы снега доставлялись в лабораторию, где производили растапливание проб при комнатной температуре, отфильтровывали через фильтр «синяя лента», измеряли объем каждой пробы и отфильтровывали через фильтр «белая лента». Анализировался твердый остаток, оставшийся на фильтрах после фильтрования. Анализ твердого остатка после таяния снеговой воды проводился с использованием портативного рентгенофлуоресцентного анализатора SciAps серии X200 на 20 элементов [\[50\]](#). Химический анализ проб на содержание различных элементов в талой снеговой воде проводился на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) Thermo Scientific iCAP 6300DUO, таким образом были определены концентрации K, Ca, Si, Mg, Cu, As, Na, Pb, Zn. Ртуть определялась методом атомной абсорбции на спектрометре «РА-915+» с приставкой «РП-91С».

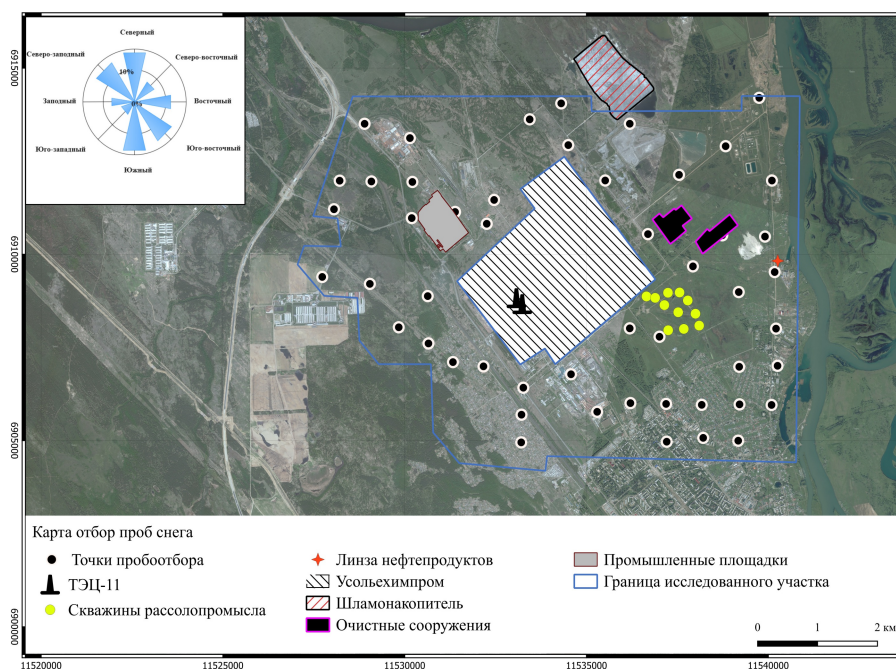


Рис. 1. Схема отбора проб снега в 2023 г.

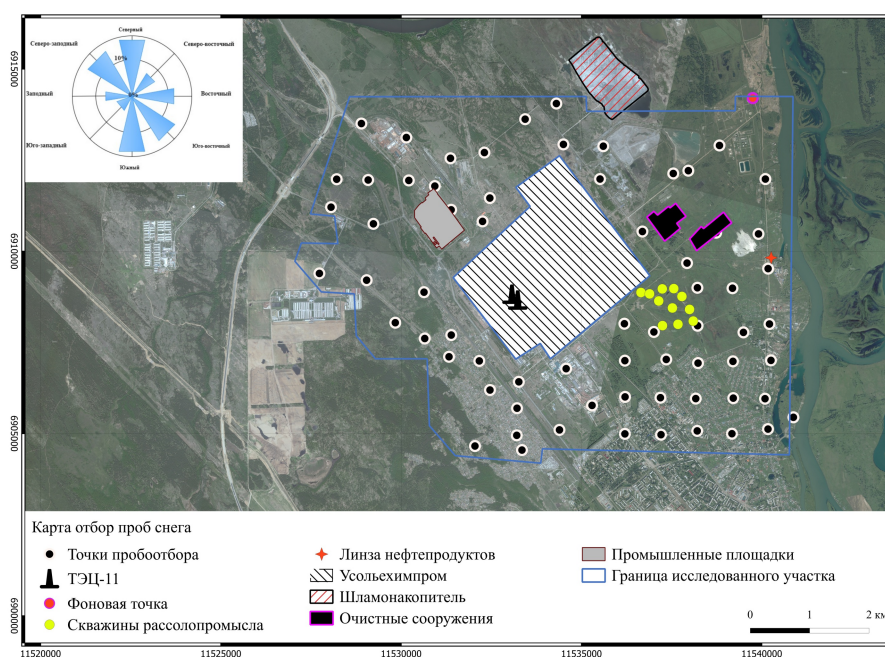


Рис. 2. Схема отбора проб снега в 2024 г.

Кроме точек пробоотбора, на рисунках 1 и 2 отмечены некоторые известные объекты, являющиеся или являвшиеся источником загрязнения окружающей среды, в частности: сама территории бывшей промлощадки «Усольехимпрома», 12-ть ликвидированных скважин рассолопромысла, очистные сооружения, шламонакопитель, ТЭЦ-11, промышленные площадки других производственных объектов.

Отдельно следует дать комментарий о выборе «фоновых» точек. В данной работе анализируется как снеговая вода, что наиболее типично для эколого-геохимических исследований снегового покрова [10, 11, 49], так и твердый осадок, такой подход пока применяется существенно реже [13, 51]. В первом случае мы получаем информацию о водорастворимых формах загрязнителей, которые затем после таяния снега перейдут в

почву и далее по трофической цепи, во втором случае – о нерастворимых формах, которые, тем не менее, будут поступать в легкие человека в виде пыли. При этом пылевые частицы переносятся на меньшие расстояния, оседая ближе к источнику образования. За фоновые химические параметры в снеговой воде принимаются концентрации поллютантов в пробах с северных территорий, не подверженных техногенному воздействию [\[13, 51\]](#), зачастую они могут лежать ниже предела обнаружения даже современных высокочувствительных методик типа ICP-AES [\[50\]](#). Однако на таких фоновых участках, ввиду отсутствия техногенного влияния, формирующего пылевую нагрузку, твердый осадок на фильтрах, который можно было бы подвергнуть химическому анализу и определить фоновые содержания, практически отсутствует. Поэтому фоновые пробы для получения некоторых опорных значений концентрации загрязняющих веществ в твердом остатке на фильтрах в данном исследовании выбирались исходя из двух принципов – во-первых, на изучаемых территориях с техногенным влиянием (чтобы этот остаток имел место быть), а во-вторых, с площади с наименьшим уровнем этого техногенного влияния – в направлении наименьшей повторяемости ветров, вдали (несколько км) от источников воздействия. Для наших исследований такая проба была выбрана в северо-восточном направлении от основной территории исследования. Таким образом для снеговой воды далее мы будем говорить о сравнении с региональным фоном, а для твердого осадка – о сравнении с локальным фоном района города Усолье-Сибирское.

Результаты исследования и их обсуждение

В первую очередь результаты химико-аналитических исследований проб твердого остатка на фильтрах были подвергнуты математическому анализу для оценки качества получаемого химико-аналитического результата. Это связано с необходимостью обоснования достаточной чувствительности рентгенофлуоресцентного анализа для корректного описания наблюдаемой вариабельности химических параметров, особенно в случае применения мобильной аппаратуры. Метод ICP-AES является стандартно применяемым в подобных задачах вследствие чего дополнительного обоснования допустимости его применения не приводится. На рисунке 3 представлены диаграммы размаха для ряда элементов, полученных в результате РФА-анализа.

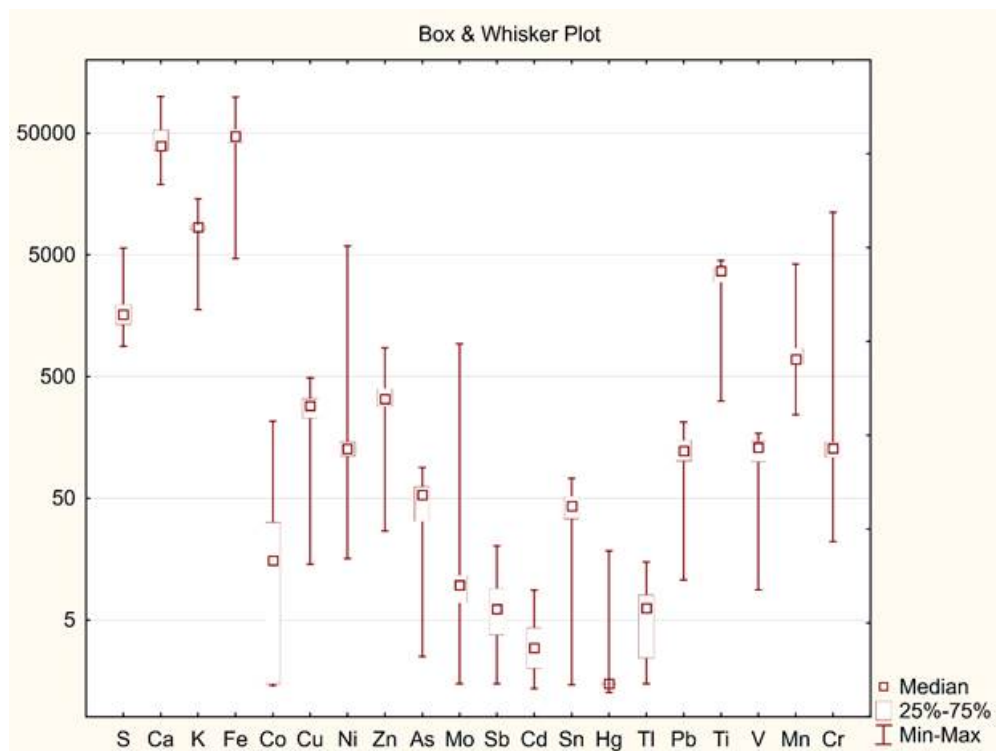


Рис. 3. Диаграммы размаха по результатам РФА-анализа твердого осадка в снеговом покрове

Из рисунка 3 видно, что все элементы имеют значимую изменчивость, лежащую в пределах чувствительности используемой аппаратуры [50]. Некоторым исключением является ртуть, медианное значение лежит ниже предела обнаружения, однако повышенные значения фиксируются корректно. Вследствие этого полученные данные могут быть использованы для дальнейшей математической и геостатистической обработки.

По результатам факторного анализа методом главных компонент, основной вклад в общую дисперсию (15-28%) вносят три первых фактора, а ртуть самостоятельно выделяется в четвертый (таблица 1).

Таблица 1. Результаты факторного анализа химических параметров твердого осадка

Номер ГК	Ассоциация элементов	Вклад в дисперсию, %
1	Cu+As+Se+Ti+V + Fe+Zn+Sn+Pb	28
2	Cr+Co+Ni+Mo	23
3	невыраженная	15
4	Hg	7.5

Исходя из этого следует, что ртуть по всей видимости имеет отдельный источник, а интерпретация для ключевых элементов выявленных ассоциаций приведена далее (рисунки 4 и последующие). Наряду с картами распределения химических параметров в твердом осадке также представлены для анализа результаты исследований воды, которые в связи с небольшим количеством определённых элементов дополнительному математическому анализу не подвергались.

Все представленные картографические материалы подготовлены в системе координат

EPSG 3395 (Эллипсоид WGS 84 / Проекция World Mercator).

Поскольку нормативов содержания загрязняющих веществ в снежном покрове не существует, то опорными значениями могут служить фоновые концентрации в пробах, отобранных в техногенно незагрязненных районах. Ввиду значительного переноса воздушных масс на большие расстояния для установления фона необходимо выбирать территории на значительном удалении (несколько десятков км) от любых источников негативного влияния. В ходе наших предыдущих исследований нами были получены данные о составе снежного покрова в Арктических районах Сибири и Дальнего Востока [51]. Пробы снега с этих территорий были подвергнуты такого же рода исследованиям на ICP-AES и были получены следующие усредненные результаты в мг/дм³ в отфильтрованной талой снеговой воде: К <1; Са 0,3; Si <0,05; Mg - 0,06; Cu 0,004; As <0,005; Na <1; Pb <0,001; Zn <0,006, Hg <0,05 (мкг/дм³) [51].

На рис. 4 приведены карты распределения ртути в снеговой воде и твердом остатке на фильтрах.

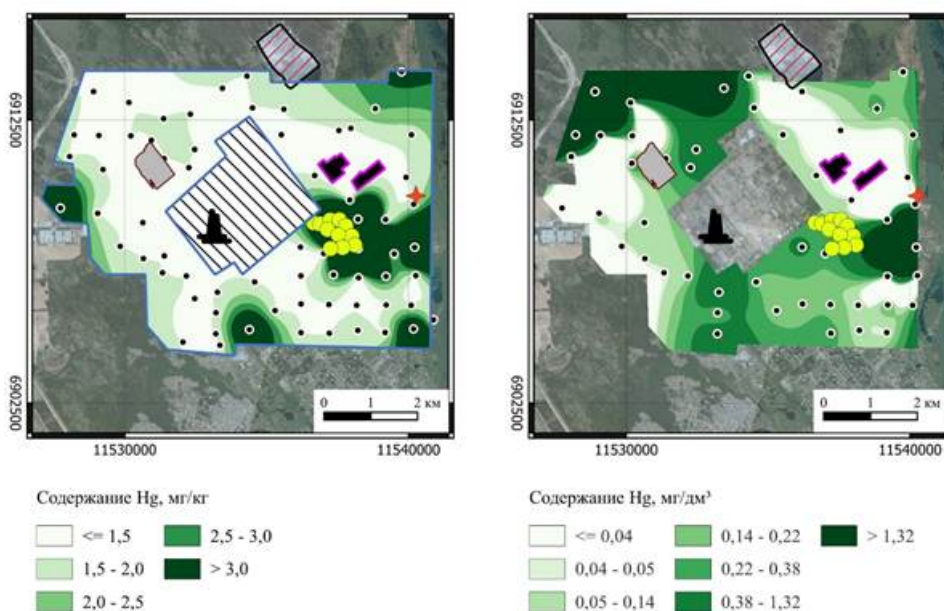


Рис. 4. Карта распределения нерастворимых (слева) и растворимых (справа) соединений ртути

Как видно из рис. 4, единственная значимая аномалия по ртути (затрагивающая сразу несколько смежных пробных площадок, а не единичные пробы) расположена к востоку от бывшей промлощадки «Усольехимпрома», включая область 12-ти ликвидированных скважин рассолопромысла. Основные зоны загрязнения снеговой воды ртутью расположены в 2-3 км на северо-запад и юго-восток от территории бывшей промлощадки «Усольехимпрома» с превышением фона от 26 раз. Самые чистые зоны в районе Усольского свиного комплекса и железнодорожной станции «Мальтинка», а также в районе очистных сооружений к северо-западу от промлощадки «Усольехимпрома».

На рис. 5 представлены карты распределения мышьяка в талой воде и твердом остатке на фильтрах.

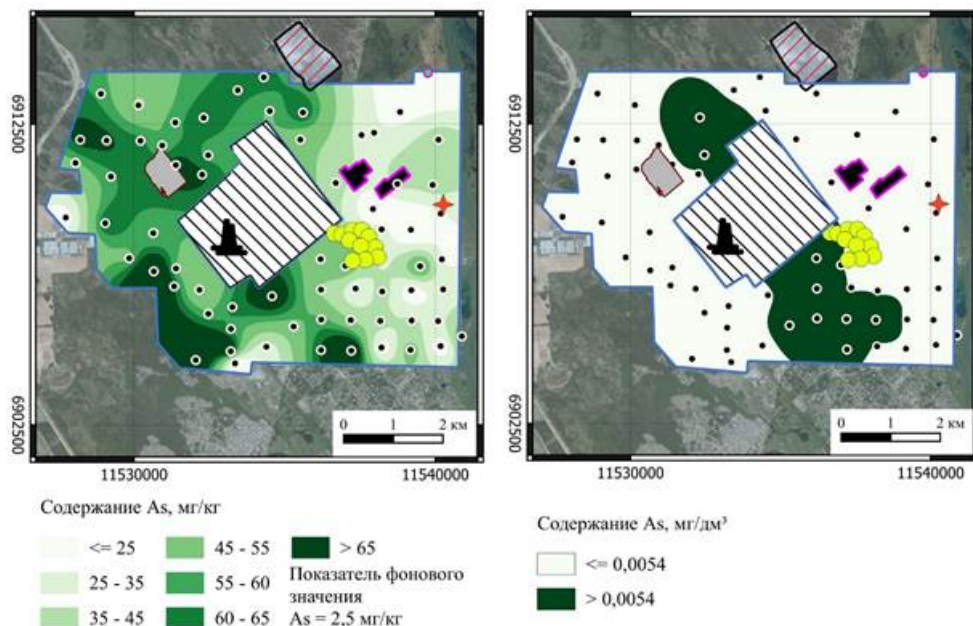


Рис. 5. Карты распределения нерастворимых (слева) и растворимых (справа) соединений мышьяка

Как видно из рис. 5. по карте распределения мышьяка в твердом остатке можно судить о практически повсеместном его присутствии на изучаемой территории, однако самая крупная аномалия выделяется в юго-западной части района, относящейся к территории садоводств и простирающейся вдоль автодороги «Байкал» и железнодорожных путей. Фон по мышьяку в этом районе превышен более, чем в 26 раз.

По анализу содержания мышьяка в талой воде можно выделить лишь зоны с незначительным максимальным превышением в 1,8 раз. Зоны с повышенным содержанием мышьяка в твердом остатке и жидкой фазе заметно отличаются, хотя несколько смещенная аномалия северо-западного простираения, проходящая через бывшую промплощадку, присутствует на обеих картах.

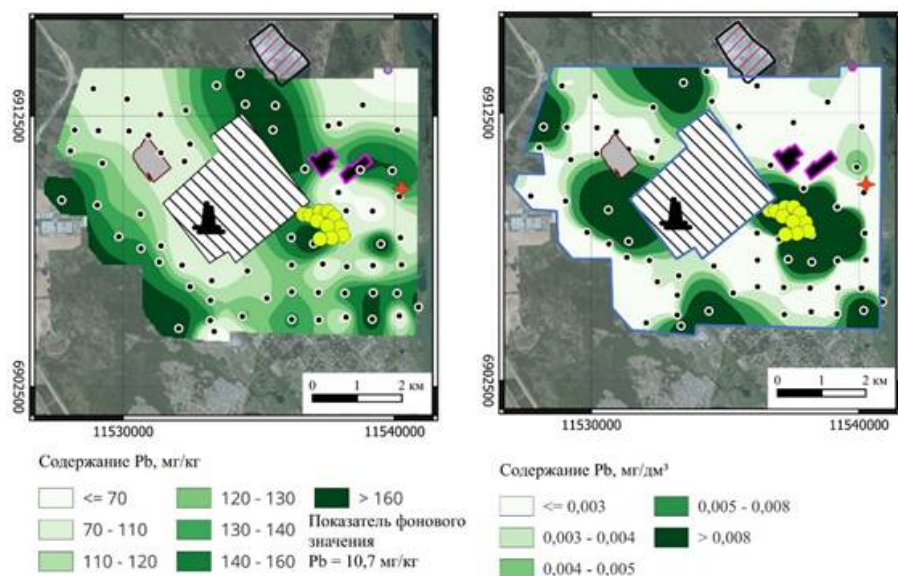


Рис. 6. Карты распределения нерастворимых (слева) и растворимых (справа) соединений свинца в пробах снега

Из карты распределения свинца в твердом остатке на рис 6. видно, что основные

аномалии по нему расположены в северной части бывшей промплощадки «Усольехимпрома» в направлении шламонакопителя и в юго-западной части изученной территории на стыке лесной зоны и садоводческих участков. Превышение фона в этих аномалиях – более 15 раз. Аномалии свинца в талой воде имеют мозаичный характер и контрастируют с остальной территорией не более, чем в 3 раза. Зоны с повышенным содержанием свинца в твердом остатке и жидкой фазе между собой не повторяются, а скорее наоборот – зоны аномальные по твердому осадку соответствуют фоновым значениям в пробах талой воды.

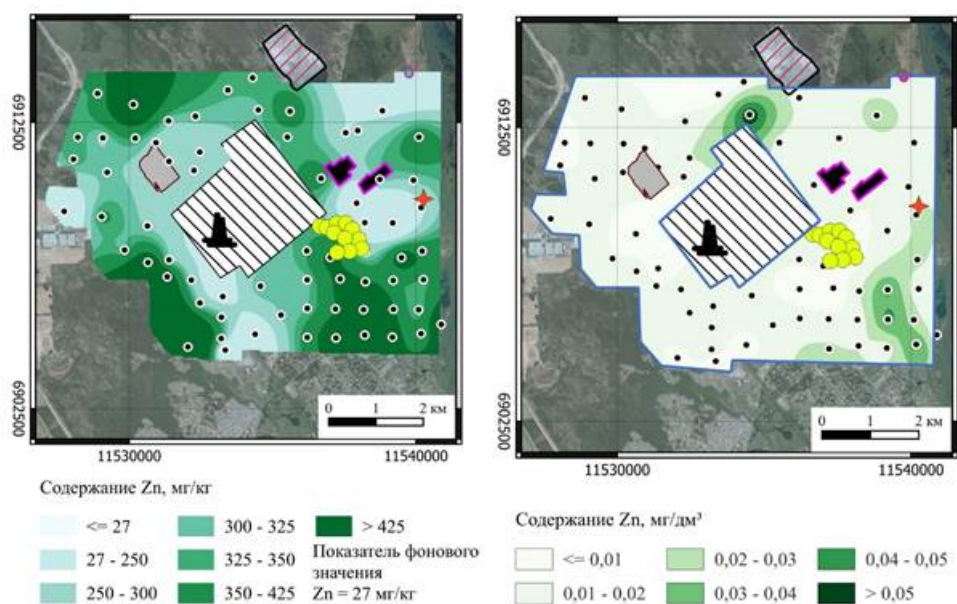


Рис. 7. Карты распределения нерастворимых (слева) и растворимых (справа) соединений цинка в пробах снега

Из рис. 7. по карте распределения цинка в твердом остатке видно, что зон с концентрациями в пределах фона довольно мало. Основных аномалий с превышением фона в 15,5 раз две. Одна из них практически совпадает с аномалией по мышьяку в нерастворимом остатке (рис. 5) и расположена на территории садоводств вдоль автодороги «Байкал» и железнодорожных путей. Вторая аномалия находится в юго-юго-восточной зоне – это одноэтажная застройка частного сектора г. Усолье-Сибирское. По талой воде ярких выраженных превышений фоновой концентрации не выявлено.

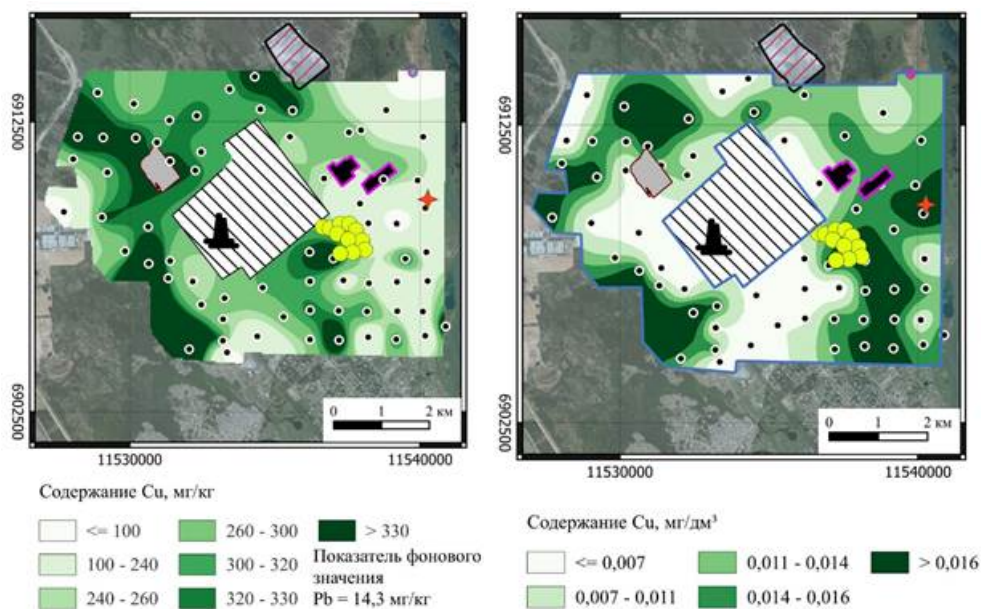


Рис. 8. Карты распределения нерастворимых (слева) и растворимых (справа) соединений меди в пробах снега

На рис. 8. представлены карты распределения меди в твердом остатке и талой вод. Из карты в твердой фазе видно, что одна из основных аномалий снова расположена на территории садоводств района «Зеленый городок» вдоль автодороги «Байкал» и железнодорожных путей, где и аномалии по мышьяку и цинку (рис. 4 и 6). Вторая аномалия расположена к северо-западу от ж/д станции «Мальтинка» и Усолье-Сибирского химико-фармацевтического завода. Превышения в аномалиях составляют от 23 фоновых концентраций. В талой снежной воде аномалия в садоводствах вдоль автодороги «Байкал» также выявлена, однако со значительно меньшим превышением фона – чуть более 4 раз. Вторая аномалия находится в частном секторе в юго-восточной части обследованной территории.

Из второй ассоциации элементов, выделенной в ходе факторного анализа, представлены карты распределения никеля и кобальта в твердом остатке на фильтрах (рис. 9), в талой воде концентрации этих элементов не определялись. Основная зона загрязнения никелем и кобальтом расположена в южной части исследуемой территории и относится к промышленной зоне Центрального района г. Усолье-Сибирское, включающей ООО «Усольский металлургический завод», ООО «Холдинг АРС» и другие производственные компании. Превышение фона по никелю тут более 9 раз, по кобальту – более 6 раз. Кроме этого, у никеля обнаружена аномалия к северо-западу от бывшей промплощадки «Усольехимпрома», затрагивающая действующий промышленный узел, включая территорию Усолье-Сибирского химико-фармацевтического завода.

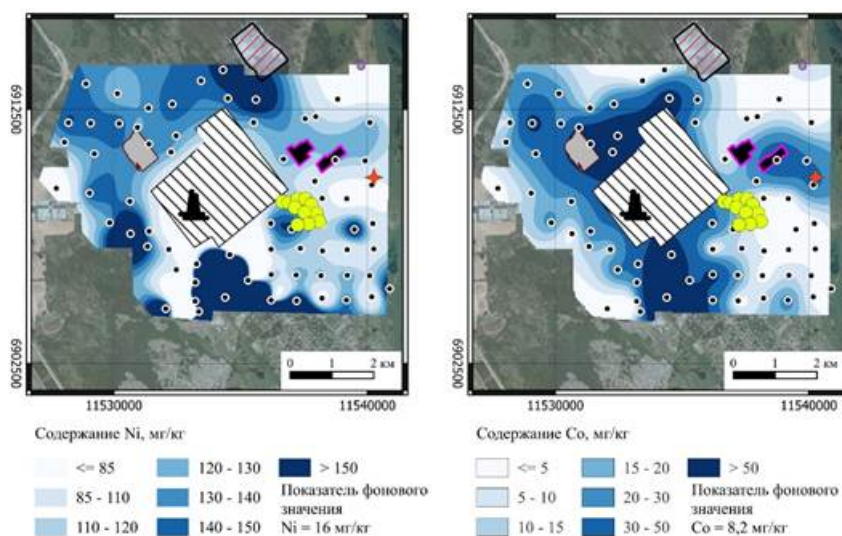


Рис. 9. Карты распределения нерастворимых соединений никеля и кобальта в пробах снега

Заключение

Полученные результаты позволяют детально охарактеризовать техногенную нагрузку на атмосферный воздух в г. Усолье-Сибирское в преддверии строительства и функционирования новых промышленных объектов. Таким образом сформирован фон для последующих программ геоэкологических наблюдений.

Выявлены основные зоны и уровни техногенной нагрузки, пространственно приуроченные к таким действующим предприятиям как ООО «Усольский металлургический завод», ООО «Холдинг АРС», автодороги «Байкал» и

железнодорожных путей, объектам, находящимся в процессе рекультивации - территория бывшей промплощадки «Усольехимпрома»,

Сопоставлены результаты анализа снеговой воды (растворимые формы поллютантов) и сухого осадка. Несмотря на то, что оба способа являются скорее взаимодополняющими, следует отметить высокую информативность исследований твердой фазы, несмотря на применение максимально простого и экспрессного метода анализа с помощью портативной XRF-аппаратуры. Так, такие значимые особенности как ассоциации загрязнителей, приуроченные к определенным источникам и формирующие локальные техногенные аномалии, были выявлены именно по результатам анализа твердой фазы. Это формирует методический базис для быстрых, недорогих и экологичных методов геоэкологических наблюдений за качеством атмосферы во всех «зимних» городах, поскольку в случае РФА по существу не требуются сложные методы пробоподготовки, химии высокой квалификации, специальные помещения и гораздо более дорогая аппаратура.

Библиография

1. Соловьянов А. А. Прошлый (накопленный) экологический ущерб: проблемы и решения. О ртутном загрязнении в Западной Сибири // Экологический вестник России. - 2016. - № 4. - С. 22-30. - EDN VUSWXF.
2. Коваль, П. В. И др. Антропогенная компонента и баланс ртути в экосистеме Братского водохранилища / П. В. Коваль, Г. В. Калмычков, С. М. Лавров [и др.] // Доклады Академии наук. - 2003. - Т. 388, № 2. - С. 225-227. - EDN OPTLRX.
3. Пастухов М. В., Полетаева В. И., Бутаков Е. В. Распределение ртути в шламонакопителе "УСОЛЬЕХИМПРОМ" и его влияние на окружающую среду // Географические основы и экологические принципы региональной политики природопользования: материалы Международной научно-практической конференции, Иркутск, 23-27 сентября 2019 г. - Иркутск: Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2019. - С. 553-556. - EDN MWSZPK.
4. Алиева, В. И. Гидрохимическая характеристика реки Ангара в районе влияния Усольского промышленного узла / В. И. Алиева, М. В. Пастухов // География и природные ресурсы. - 2012. - № 1. - С. 68-73. - EDN PXJFVV.
5. Poletaeva V. I., Pastukhov M. V., Tirsikh E. N. Dynamics of trace element composition of Bratsk Reservoir water in different periods of anthropogenic impact (Baikal Region, Russia) // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. - 2021. - Vol. 80, no. 3. - P. 531-545. DOI: 10.1007/s00244-021-00819-1 EDN: AHFFWA.
6. Особенности техногенного загрязнения и формы переноса ртути в Братском водохранилище / В. И. Алиева, Е. В. Бутаков, М. В. Пастухов, Л. Д. Андрулайтис // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2011. - № 5. - С. 431-438. - EDN ODXIAL.
7. Полетаева, В. И. Влияние сточных вод Усольской промзоны на гидрохимический состав р. Ангара / В. И. Полетаева, М. В. Пастухов // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы VII всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 105-летию со дня рождения исследователя Самарской Луки, к.г.н. Г.В. Обедиентовой, Самара, 15 января 2016 года / отв. ред. И.В. Казанцев. - Самара: Поволжская государственная социально-гуманитарная академия, 2016. - С. 74-77. - EDN VLOBNT.
8. Полетаева, В. И. Особенности поведения техногенных элементов в экосистеме Братского водохранилища / В. И. Полетаева, М. В. Пастухов // Современные проблемы регионального развития: Тезисы VI Международной научной конференции, Биробиджан, 04-06 октября 2016 года / Под редакцией Е. Я. Фрисмана. - Биробиджан: Институт

комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения РАН, 2016. - С. 153-156. - EDN XRTDMZ.

9. Пастухов, М. В. Аккумуляция техногенной ртути в донных отложениях седиментационного барьера Братского водохранилища / М. В. Пастухов, В. И. Полетаева // Ртуть и другие тяжелые металлы в экосистемах. Современные методы исследования содержания тяжелых металлов в окружающей среде: Тезисы Всероссийской научной конференции и школы-семинара для молодых ученых, аспирантов и студентов, Череповец, 14-16 мая 2018 года / Отв. ред. Е. С. Иванова. - Череповец: Череповецкий государственный университет, 2018. - С. 49-50. - EDN XRFOTJ.

10. Kholodova M. S., Poletaeva V. I., Pastukhov M. V. Features of the microelement composition of the liquid phase in snow cover from the towns of Usolye-Sibirskoe and Svirsk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - Vol. 381. - P. 012041. - DOI: 10.1088/1755-1315/381/012041.

11. Tsvetkova, E. A. Dynamics of mercury concentrations in wastewater from the Usolye-Sibirskoye industrial zone in periods with different technogenic loads / E. A. Tsvetkova, V. I. Poletaeva, M. V. Pastukhov // Limnology and Freshwater Biology. - 2022. - No. 3. - P. 1346-1348. - DOI 10.31951/2658-3518-2022-A-3-1346. - EDN IWNVST.

12. Пастухов, М. В. Химический состав планктона как показатель загрязнения Братского водохранилища / М. В. Пастухов, В. И. Полетаева // Современные направления развития геохимии: материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-летию Института геохимии им. А. П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона, Иркутск, 21-25 ноября 2022 года. - Иркутск: Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. - С. 80-84. - EDN PXSOL.

13. Минерально-вещественный состав твердого осадка снежного покрова в различных функциональных зонах Г. Усолье-Сибирское / М. С. Холодова, М. В. Пастухов, В. А. Бычинский [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2022. - Т. 333, № 9. - С. 219-230. - DOI 10.18799/24131830/2022/9/3687. - EDN IXLWDW.

14. Особенности микроэлементного состава снежного покрова Г. Усолье-Сибирское / М. С. Холодова, С. Н. Просекин, Э. Н. Тирских, П. Г. Долгих // Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, почетного члена Русского географического общества, профессора, доктора географических наук Земцова Алексея Анисимовича, Томск, 18-19 февраля 2020 года. - Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2020. - С. 150-153. - EDN TYQZFN.

15. Савченков, К. С. Содержание ртути в почвах Усольской промышленной зоны и прилегающей к ней территории / К. С. Савченков, М. В. Пастухов // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной Году науки и технологий, Краснодар, 29-31 марта 2021 года. - Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2021. - С. 425-428. - EDN EMOSEM.

16. Gordeeva, O. Mercury bioaccumulation by higher plants and mushrooms around chlor-alkali and metallurgical industries in the Baikal region, Southern Siberia, Russia / O. Gordeeva, G. Belogolova, M. Pastukhov // Chemistry and Ecology. - 2021. - Vol. 37, No. 8. - P. 729-745. - DOI 10.1080/02757540.2021.1972983. - EDN NYMUER.

17. Азовский, М. Г. Уровень накопления ртути в водных растениях как показатель загрязнения водоемов / М. Г. Азовский, М. В. Пастухов, В. И. Гребенщикова // Вода:

химия и экология. - 2010. - № 8(26). - С. 20-24. - EDN MUQHVVD.

18. Пастухов, М. В. Биогеохимические особенности накопления ртути планктоном Братского водохранилища (Прибайкалье) / М. В. Пастухов, В. И. Гребенщикова, Н. Г. Шевелева // Проблемы региональной экологии. - 2009. - № 1. - С. 42-47. - EDN KARXFT.

19. Биоаккумуляция ртути в пищевых цепях окуня Иркутского и Братского водохранилищ / М. В. Пастухов, В. И. Гребенщикова, О. С. Рязанцева, В. И. Алиева // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды Междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 26-28 мая 2009 г. В 2 т. Т. 2. - Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2009. - С. 335-340. - EDN HRQLDT.

20. Гигиеническая оценка содержания ртути в атмосферном воздухе на территории промышленной площадки города Усолье-Сибирское / Т. И. Кучерская, Л. А. Аликбаева, М. Ю. Комбарова [и др.] // Актуальные вопросы гигиены: сб. науч. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 17 февр. 2024 г. - СПб.: Сев.-Зап. гос. мед. ун-т им. И. И. Мечникова, 2024. - С. 133-137. - EDN GVHKBLL.

21. Кучерская, Т. И. Гигиеническая оценка загрязнения почв ртутью на территории промышленной площадки г. Усолье-Сибирское / Т. И. Кучерская, Л. А. Аликбаева, М. Ю. Комбарова // Профилактическая медицина - 2022: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 30 нояб. - 01 дек. 2022 г. / под ред. А. В. Мельцера, И. Ш. Якубовой. - СПб.: Сев.-Зап. гос. мед. ун-т им. И. И. Мечникова, 2022. - С. 153-156. - EDN DRBCIQ.

22. Алыкова, О. И. Накопленный экологический вред: проблемы и последствия. Сообщение 2. Анализ ситуации / О. И. Алыкова, Л. Ю. Чуйкова, Ю. С. Чуйков // Астраханский вестник экологического образования. - 2021. - № 2(62). - С. 114-137. - DOI 10.36698/2304-5957-2021-2-114-137. - EDN FMUSDM.

23. Петрова, А. С. Реализация экологических проектов Госкорпорацией "Росатом" / А. С. Петрова // Теоретическая и прикладная экология. - 2023. - № 4. - С. 28-34. - DOI 10.25750/1995-4301-2023-4-028-034. - EDN LQZLNV.

24. Глава "Росатома" Алексей Лихачев и зампредправления РФ Дмитрий Патрушев посетили промплощадку "Усольехимпрома" [Электронный ресурс]. - URL: <https://atommedia.online/2024/10/01/glava-rosatoma-aleksey-lihachev-i-za/> (дата обращения: укажи сам при необходимости).

25. Цветкова, Е. А. Гидрохимическая характеристика р. Ангара в условиях воздействия промышленной зоны (г. Усолье-Сибирское) / Е. А. Цветкова, В. И. Полетаева // Геология на окраине континента: матер. II молодеж. науч. конф.-школы ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, 12-16 сент. 2022 г. - Владивосток: Дальневост. федер. ун-т, 2022. - С. 218-221. - EDN VCHHNQ.

26. Цветкова, Е. А. Характеристика сточных вод промышленной зоны г. Усолья-Сибирского и их влияние на гидрохимический состав р. Ангары в периоды с разной техногенной нагрузкой / Е. А. Цветкова, В. И. Полетаева, М. В. Пастухов // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. - 2024. - Т. 335, № 5. - С. 39-58. - DOI 10.18799/24131830/2024/5/4314. - EDN FHXWIE.

27. Полетаева, В. И. Техногенное воздействие сточных вод на гидрохимический состав р. Ангары / В. И. Полетаева, М. В. Пастухов // Теоретическая и прикладная экология. - 2022. - № 3. - С. 90-95. - DOI 10.25750/1995-4301-2022-3-090-095. - EDN EBRLIR.

28. Цветкова, Е. А. Оценка воздействия промышленных сточных вод на качество вод реки Ангара в период снижения техногенной нагрузки / Е. А. Цветкова, В. И. Полетаева // Экология родного края: проблемы и пути их решения: матер. XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Киров, 26-27 апр. 2022 г. Кн. 1. - Киров: Вят. гос. ун-т, 2022. - С. 253-258. - EDN MQUGAY.

29. Цветкова, Е. А. Трансформация гидрохимического состава вод р. Ангара в зоне

- воздействия техногенных источников / Е. А. Цветкова, В. И. Полетаева, В. А. Бычинский // Современные направления развития геохимии: матер. Всерос. конф. (с участием зарубеж. ученых), посвящ. 65-летию Ин-та геохимии им. А. П. Виноградова и 105-летию акад. Л. В. Таусона, Иркутск, 21-25 нояб. 2022 г. - Иркутск: Ин-т географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2022. - С. 201-203. - EDN IHWDIJ.
30. Цветкова, Е. А. Концентрации микроэлементов в талых водах промышленной зоны г. Усолье-Сибирское / Е. А. Цветкова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVII Междунар. молодеж. науч. симпоз. им. акад. М. А. Усова, посвящ. 160-летию акад. В. А. Обручева и 140-летию акад. М. А. Усова, Томск, 03-07 апр. 2023 г. - Томск: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, 2023. - С. 264-266. - EDN QULSNO.
31. Цветкова, Е. А. Основной ионный состав талых вод промышленной зоны г. Усолье-Сибирское / Е. А. Цветкова, В. И. Полетаева, М. В. Пастухов // Науки о Земле. Современное состояние: материалы VI Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции, п. Жемчужный, Геологический полигон "Шира", 30 июля - 5 августа 2023 г. - Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2023. - С. 169-171. - EDN DAMWAT.
32. Рапута, В. Ф. Анализ выносов ртути с промплощадки "Усольехимпрома" / В. Ф. Рапута, Р. А. Амикишиева, Т. В. Ярославцева // Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2021. - Т. 4, № 1. - С. 193-198. - DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-193-198. - EDN NJBBUG.
33. Кучерская, Т. И. Оценка содержания ртути в почве на территории промышленной площадки г. Усолье-Сибирское / Т. И. Кучерская, М. Ю. Комбарова // Медико-биологические аспекты химической безопасности: сборник научных трудов V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Санкт-Петербург, 27-29 сентября 2023 г. - СПб.: НИИ гигиены, профпатологии и экологии человека ФМБА, 2023. - С. 41-42. - EDN HNLEZW.
34. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2023 году". - Иркутск: ООО "Максима", 2024. - 308 с. : ил.
35. Официальный сайт администрации города Усолье-Сибирское. Перечень предприятий, оказывающих НВОС на территории города [Электронный ресурс]. - URL: <https://usolie-sibirskoe.ru/ekologiya/monitoring-atmosfernogo-vozdukha-rospotrebnadzor> (дата обращения: 10.04.2025).
36. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году: проект Государственного доклада. - М.: Минприроды России; ООО "Интеллектуальная аналитика"; ФГБУ "Дирекция НТП"; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. - 707 с.
37. Федеральный центр химии [Электронный ресурс]. - URL: <http://fcc.pi-school.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).
38. Иванова, У. С. Принципы приращения национального благосостояния на примере разработки Федерального центра химии в г. Усолье-Сибирское / У. С. Иванова, Ю. В. Зворыкина, М. В. Василькова, А. В. Олейник // Прогрессивная экономика. - 2024. - № 1. - С. 32-54. - DOI 10.54861/27131211_2024_1_32. - EDN ZWFRVQ.
39. Белозерцева, И. А. Загрязнение атмосферы и содержание фтора в снеге на акватории оз. Байкал / И. А. Белозерцева, И. Б. Воробьева, Н. В. Власова [и др.] // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - № 2-2. - С. 735. - EDN UZJITD.
40. Носова, О. В. Мониторинг снежного покрова селитебной зоны г. Норильска / О. В. Носова, А. В. Каверзин // Культура. Наука. Производство. - 2019. - № 4. - С. 30-36. - EDN ZPFUYT.
41. Даунов, Б. Я. Мониторинг загрязнения атмосферы и снежного покрова с целью предотвращения ЧС техногенного характера / Б. Я. Даунов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. - 2018. - Т. 1. - С.

159-161. - EDN YXLNIL.

42. Мищенко, О. А. Мониторинг состояния снежного покрова на территории Хабаровского края / О. А. Мищенко, А. А. Шелганова // Отходы и ресурсы. - 2022. - Т. 9, № 3. - DOI 10.15862/11ECOR322. - EDN QUVJWR.

43. Асфандиярова, Л. Р. Анализ состояния атмосферного воздуха при помощи мониторинга снежного и почвенного покрова / Л. Р. Асфандиярова, Т. З. Забиров, А. Р. Байтимиров // Решение. - 2020. - Т. 1. - С. 62-64. - EDN HSUPQW.

44. Новороцкая, А. Г. О результатах химического мониторинга снежного покрова Хабаровска / А. Г. Новороцкая // Успехи современного естествознания. - 2018. - № 12-2. - С. 374-379. - EDN MLQEPB.

45. Афоина, Т. Е. Мониторинг загрязнения снежного покрова углеводородными соединениями / Т. Е. Афоина // Вестник ИрГХА. - 2023. - № 117. - С. 8-18. - DOI 10.51215/1999-3765-2023-117-8-18. - EDN QTVVEV.

46. Ломсков, М. А. Мониторинг содержания тяжелых металлов в снежном покрове отдельных участков трех парковых территорий Москвы / М. А. Ломсков, А. М. Коновалов, К. И. Шурухт // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. - 2022. - № 3. - С. 27-29. - DOI 10.37882/2223-2966.2022.03.23. - EDN DJIKSU.

47. Гончар, Н. В. Снеговая съемка в пределах месторождений медных руд в горнопромышленных районах Урала / Н. В. Гончар, А. Б. Макаров, О. М. Гуман, И. А. Антонова // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. - 2024. - Т. 27, № 2. - С. 158-169. - DOI 10.21443/1560-9278-2024-27-2-158-169. - EDN KTHGKZ.

48. Ермолов, Ю. В. Вклад выбросов металлургии в пылеаэрозольное загрязнение Норильского промышленного района по снегогеохимическим данным / Ю. В. Ермолов, И. Д. Махатков, А. С. Черевко // Оптика атмосферы и океана. - 2023. - Т. 36, № 2 (409). - С. 93-99. - DOI 10.15372/AOO20230203. - EDN MYUNFY.

49. Филимонова, Л. М. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова / Л. М. Филимонова, А. В. Паршин, В. А. Бычинский // Метеорология и гидрология. - 2015. - № 10. - С. 75-84. - EDN UYCNVJ.

50. Кузнецова О. В., Качор О. Л., Матюхин И. А., Икрамов З. Л., Паршин А. В. Экспрессный рентгенофлуоресцентный анализ как современная альтернатива традиционным спектральным методам при решении задач геохимических поисков. Науки о Земле и недропользование. - 2023. - Т. 46, № 4. - С. 390-401. - DOI 10.21285/2686-9993-2023-46-4-390-401. - EDN XMXYIB.

51. Качор, О. Л. О результатах исследований качества атмосферного воздуха в микрорайоне Иркутск-2 и поселке Боково (юго-западное Прибайкалье) методом снегогеохимической съемки / О. Л. Качор, А. В. Паршин, З. Л. Икрамов, В. В. Трусова, А. В. Курина // Науки о Земле и недропользование. - 2025. - № 1. - DOI 10.13140/RG.2.2.33094.59201.

Результаты процедуры рецензирования статьи

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

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

Предметом исследования является оценка качества атмосферного воздуха в районе будущего экотехнопарка "Восток" (г. Усолье-Сибирское, Иркутская область) по данным снегогеохимической съемки.

Актуальность изучения данного вопроса не вызывает сомнения. Исследования снежного покрова являются одним из универсальных способов контроля за состоянием приземной атмосферы, позволяющим дать комплексную характеристику состояния атмосферного воздуха и антропогенного загрязнения окружающей среды во многих «зимних» городах и районах. Особое значение на современном этапе развития систем экологического мониторинга и контроля имеет качество атмосферного воздуха. Воздух, как объект окружающей среды, оказывает наибольшее влияние на здоровье населения, т.к. контакт с ним непрерывен, и в случае загрязнения атмосферы поллютанты могут переноситься на значительные расстояния от источника воздействий. В г. Усолье-Сибирское и в районе будущего экотехнопарка "Восток" на состояние атмосферного воздуха оказывают влияние действующие в городе 34 промышленных предприятия и объекты ТЭК, приводя к очень высокому уровню загрязнения воздуха (бензапиреном, формальдегидом, взвешенными веществами и т.д.).

Поскольку Усолье-Сибирское расположено в северном регионе, с продолжительной зимой и устойчивым сезонным снежным покровом, то наиболее эффективным способом комплексной и детальной в геопространственном отношении оценки загрязнения воздуха является изучение распределения поллютантов в жидкой и твердой фазе сезонных проб снега, т.к. он адсорбирует из воздуха значительную часть загрязняющих веществ. По составу снежного покрова можно идентифицировать антропогенные источники воздействия.

Методология исследования основана на изучении распределения поллютантов в жидкой и твердой фазе сезонных проб снега (снегогеохимические исследования). В период максимального накопления влагозапаса в снежном покрове был проведен отбор проб снега с целью выявления загрязнения атмосферного воздуха в г. Усолье-Сибирское.

Пробоотбор снега производился с учётом требований ГОСТ Р 70282-2022 на участках размером от 5х5 м до 10х10 м методом «конверта». Пробы отбирали на всю мощность из шурфов лопатами из химически стойкого полимерного материала. Из отобранных проб с одного участка составлялась объединенная проба, весом не менее 10 кг, которая помещалась в емкость из химически стойкого полимерного материала (полиэтиленовый пакет) и маркировалась. Пробы снега доставлялись в лабораторию, где производили растапливание проб при комнатной температуре, отфильтровывали через фильтр "синяя лента" и анализировали твердый остаток после фильтрования.

Анализ твердого остатка после таяния снеговой воды проводился с использованием портативного рентгенофлуоресцентного анализатора SciAps серии X200 на 20 элементов. Химический анализ проб на содержание различных элементов в талой снеговой воде проводился на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) Thermo Scientific iCAP 6300DUO.

Научная новизна заключается в том, что авторы впервые анализировали не только талую снеговую воду районов загрязнения, но и твердый осадок снежного покрова. Таким образом получена информация не только о водорастворимых формах поллютантов (которые после таяния снега перейдут в почву), но и информация о нерастворимых формах загрязнителей, которые могут поступать в легкие человека в виде пыли. Результаты химико-аналитических исследований проб твердого остатка на фильтрах были подвергнуты математическому анализу для оценки качества получаемого химико-аналитического результата.

Стиль статьи – научный, по объёму соответствует требованиям журнала. Статья имеет табличный и иллюстративный материал (карты распределения загрязнителей). Исследования выполнены в течение 2023-2024 гг. Все представленные картографические материалы подготовлены в системе координат EPSG 3395 (Эллипсоид WGS 84 / Проекция World Mercator). На основе полученных данных сопоставлены

результаты анализа снеговой воды (растворимые формы загрязнителей) и сухого осадка, выявлены основные зоны и уровни техногенной нагрузки, пространственно приуроченные к таким действующим предприятиям как ООО «Усольский металлургический завод», ООО «Холдинг АРС», автодороги «Байкал» и железнодорожных путей, объектам, находящимся в процессе ре-культивации - территория бывшей промплощадки «Усольехимпром».

В статье имеются незначительные опечатки, например в заключении, во втором абзаце «...территория бывшей промплощадки «Усольехимпрома»...) в слове «промплощадки» имеется опечатка.

Библиография статьи достаточно объёмная и включает в себя 51 литературный источник, что слишком «перегружает» данную статью.

Например, только в абзаце: «О негативном влиянии бывшей промплощадки на различные объекты окружающей среды свидетельствуют многочисленные работы, посвященные изучению микро- и макроэлементного состава воды, донных отложений, фитопланктона, зоопланктона, рыбе Братского водохранилища, почвы, снегового покрова, сточных и талых вод с промплощадки, накоплению ртути высшими растениями, грибами, водными растениями [6-21]», автор делает ссылку сразу на 15 источников. Достаточно было ограничиться наиболее значимыми источниками. Не все источники оформлены согласно требованиям (в источнике №50 не отмечен год издания).

Выводы в статье имеют обобщенный характер и не совсем отражают результаты исследований по оценке качества атмосферного воздуха в районе будущего экотехнопарка "Восток". Желательно их конкретизировать и подтвердить некоторыми экспериментальными данными. Хотя автор приходит к выводу, что полученные результаты позволяют детально охарактеризовать техногенную нагрузку на атмосферный воздух в г. Усолье-Сибирское в преддверии строительства и функционирования новых промышленных объектов.

Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на использованные литературные источники и выражении авторского мнения по изучаемой проблеме. Рецензируемая статья несомненно будет интересна и полезна широкому кругу ученых и специалистов в области экологии Арктических регионов.

Данная статья рекомендуется к опубликованию в журнале «Арктика и Антарктика» после незначительной доработки.