

Арктика и Антарктика*Правильная ссылка на статью:*

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 сугробном покрове (на примере обособленных районов г. Иркутска, южное Прибайкалье) // Арктика и Антарктика. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2453-8922.2025.3.74200 EDN: NYTYKK URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=74200

О рациональной методике геоинформационного картографирования при исследовании загрязнения атмосферы методом анализа твердого остатка в сугробном покрове (на примере обособленных районов г. Иркутска, южное Прибайкалье)

Качор Ольга Леонидовна

доктор технических наук

руководитель департамента геэкологии; 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

**Икрамов Зиевиддин Лупфиддин 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

**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

**Трусова Валентина Валерьевна**

кандидат технических наук

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

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

✉ vvtrusova@geo.istu.edu

**Паршин Александр Вадимович**

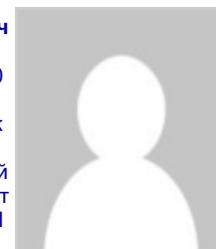
ORCID: 0000-0003-3733-2140

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

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

DOI:

10.7256/2453-8922.2025.3.74200

EDN:

NYTYKK

Дата направления статьи в редакцию:

23-04-2025

Дата публикации:

02-05-2025

Аннотация: Предметом исследования является анализ информативности различных способов картографирования загрязнения воздуха на основе данных, получаемых в результате снегогеохимических исследований. Рассматриваются недостатки обычных карт концентраций химических элементов в твердом остатке снега. Проводится сопоставление таких карт с картами суточного поступления поллютантов и картами сезонных содержаний, рассчитанных с учетом площади и глубины пробных шурфов и массы твердого остатка на фильтрах. Эти картографические материалы приводятся в дополнение к ранее проведенной интерпретации результатов снегогеохимических исследований одного из обособленных районов города Иркутска. Показано, что картографические материалы, отражающие количества поступающих загрязнителей в единицу времени на единицу площади являются более корректными с позиции оценки экологической ситуации, они позволяют характеризовать геоэкологическую обстановку более полно и правильно. Исследование направлено на оптимизацию самой экспрессной и дешевой методики снегогеохимических исследований, основанной на рентгенофлуоресцентном анализе твердой фазы сугробового покрова. Доказано, что геостатистическая обработка результатов химико-аналитических исследований не менее значима для получения достоверно интерпретируемого картографического материала, чем корректно проведенные полевые и лабораторные работы. Впервые показаны эффекты инверсии геохимических аномалий на участках с высокой пылевой нагрузкой. Попутно на основе ранее полученных полевых данных создана новая геоэкологическая информация, которая позволяет более полно и качественно визуализировать, а затем объяснить характер загрязнения атмосферы в одном из районов Прибайкалья со сложным характером техногенной нагрузки, который на протяжении лет является постоянным объектом внимания жителей и органов экологического контроля. Общеметодические выводы позволяют финализировать методику экспрессной оценки загрязнения атмосферы на основе отбора проб сезонного снега и РФА-анализа сугробовой пыли, которая по мнению авторов должна стать одной из базовых

составляющих системы оценки фонового состояния и экологического мониторинга арктических геосистем перед и во время их хозяйственного освоения, заменив традиционные методы мгновенного контроля состояния атмосферного воздуха.

Ключевые слова:

загрязнение атмосферы, твердый остаток, экологический мониторинг, тяжелые металлы, снеговой покров, оценка фонового состояния, картографирование загрязнений, Иркутская область, качество воздуха, удельная накопленная нагрузка

Введение

Состояние снегового покрова на освоенных в хозяйственном отношении территориях наглядно показывает как особенности естественных атмогеохимических процессов изучаемой территории, так и уровень влияния техногенных факторов. Снежный покров накапливает в себе загрязняющие вещества в процессе сухого и влажного вымывания поллютантов из атмосферного воздуха [1]. Сухое вымывание представляет собой непосредственное осаждение загрязняющих веществ на уже выпавший снежный покров, а влажное – вымывание загрязнителей из атмосферы в процессе формирования или уже выпадения осадков снежного покрова. За счет протекания этих процессов концентрация загрязняющих веществ в снежном покрове изучаемой территории оказывается на несколько порядков выше, чем в атмосферном воздухе, что в природных зонах на долю сухих вымываний приходится относительно невысокий процент загрязнения – около 10-30%, а основная доля общего загрязнения снежного покрова формируется высоко над поверхностью земли, в процессе их вымывания из принесенных воздушных масс осадками. Но в антропогенно-измененных территориях ситуация меняется: наличие источников загрязнения (зачастую – постояннодействующих) формирует устойчивую вероятность осаждения загрязнителей вблизи источника их формирования, и таким образом на долю сухих выпадений может приходиться от 70 до 90% от общего загрязнения [2].

Таким образом, исследуя наличие и степень проявленности в снеговом покрове различных загрязнителей, становится возможным изучить особенности влияния различных промышленных объектов на состояние воздуха в районе. Известно, что в регионах с длительной зимой исследования загрязнения атмосферы методом отбора проб сезонного снега на площади и изучением его химических параметров является наиболее информативным способом оценки качества воздуха [3], поскольку такой способ может обеспечить и высокую пространственную детальность получаемых данных, которая определяется плотностью сети пробоотбора, и одновременно получить довольно большое количество индикаторов техногенных воздействий, применяя для этого различные методики исследований химического состава, физических свойств или минералогических особенностей твердых или жидкых фаз снега. В существующей практике геоэкологических исследований наибольшее распространение получили исследования химического состава растворимых форм в снеговой воде и ее физических свойств (т.е. того, что формируются в результате влажного вымывания) [4-7]. Однако значительную информативность может обеспечить и анализ твердого осадка, вследствие чего постоянно увеличивается количество новых методик, позволяющих получать дополнительные параметры и сведения – различными методами изучается химический состав твердого остатка, минеральные формы, интегральные физические характеристики

[\[8-12\]](#).

В данной работе авторы хотели бы обратить внимание на то, что на получение правильно интерпретируемого и достоверного результата геоэкологической оценки загрязнения воздуха влияет не только методика пробоотбора или лабораторных исследований, но и подход к геостатистической обработке и картографированию полученных результатов. Безусловно именно картографические представления – карты, схемы, картограммы, являются наиболее биологически удобными для анализа видом представления геоданных. При этом стандартный подход к картографической визуализации результатов снегогеохимических исследований, особенно в отношении анализа твердого осадка, по мнению авторов содержит ряд проблемных моментов. Дело в том, что обычным результатом картографирования являются карты концентраций различных химических элементов или их соединений. Однако такие карты не отражают реальное количество поллютанта, поступившего на конкретную территорию за единицу времени и тем самым нанесшего потенциальный экологический ущерб, а фиксируют его лишь концентрацию в объеме (талая вода) или массе (твёрдый остаток на фильтре) вещества. И если в случае талой воды такой подход можно считать вполне приемлемым, поскольку объем воды в различных точках может быть примерно одинаковым, т.к. снежный покров распределен относительно равномерно в рамках изучаемой локальной территории, следовательно большая концентрация и будет относиться к точке с большим объемом привнесенного за сезон загрязняющего вещества, то масса твердого остатка может варьироваться очень сильно, вследствие чего итоговые информационные материалы будут иметь смысл, весьма далекий от закартированной степени техногенной нагрузки от конкретного элемента. Дело в том, что если атмосферный воздух является чистым, то после фильтрации проб талого снега через фильтр на фильтрующей поверхности может почти не остается нерастворимых частиц, в объеме, достаточном для анализа [\[10\]](#), либо же их будет очень мало. В таком случае даже крайне небольшое количество загрязняющего вещества, отнесенное на малый объем пробы, даст очень высокую концентрацию поллютанта в точке, что по факту не отражает реальное экологическое состояние атмосферы. При сильном загрязнении атмосферы пылью, содержащей какие-либо другие вещества кроме изучаемого поллютанта, результат также будет искаженным, ведь даже значительное количество изучаемого загрязняющего вещества, отнесенное к большому объему твердого остатка на фильтрах, станет низким, и будет казаться, что степень влияния от него невысока. Таким образом карты концентраций, построенные для природно-антропогенных обстановок с комплексной техногенной нагрузкой и существенно разной пылевой нагрузкой в пределах изучаемого участка могут обеспечить неверную интерпретацию.

В данной работе авторы анализируют проблему информативной картографической визуализации результатов исследований твердой фазы снегового покрова для совершенствования наиболее экспрессного подхода к атмогеохимической оценке территорий, основанного на изучении химического состава твердого остатка с помощью неразрушающего РФА-анализа. Такой подход очень быстр и дешев, не требует дорогостоящей лабораторной базы и сложной пробоподготовки, и при этом позволяет получать весьма информативные результаты, отражающие сложный характер воздействий от нескольких источников [\[8, 10, 13\]](#). Для демонстрации вышеописанных проблем и предлагаемого подхода был подобран показательный и при этом типичный кейс: ранее на основании результатов снегогеохимической съемки [\[10\]](#) авторами была дана оценка состояния атмосферного воздуха в микрорайоне Иркутск-2 города Иркутска и прилегающего к нему поселка Боково, которые являются объектами комплексного

техногенного воздействия и постоянного внимания со стороны жителей и экологов. Химико-аналитические исследования талой снеговой воды методом ICP-AES, и твердого остатка на фильтрах методом XRF позволили выделить участки наибольших аномалий, а также определить возможные источники их образования. Были построены обычные карты концентраций веществ в воде и твердом осадке и дана их интерпретация, однако оказалось, что вследствие наличия участков с очень высокой пылевой нагрузкой в данном кейсе наблюдается полный набор искажений, описанных выше. Вследствие этого в данной работе производится сопоставительный анализ трех вариантов картографирования результатов химико-аналитических исследований твердого остатка, и обсуждаются преимущества и недостатки получаемых картографических представлений, и попутно дается дополненная интерпретация результатов атмогеохимических исследований рассматриваемого района Прибайкалья.

Объекты и методы исследований

Отбор проб сезонного снега проводился в рамках стандартного для института «Сибирская школа геонаук» ИРНИТУ подхода к реализации базовых образовательных программ по принципу «знания через деятельность»[\[14\]](#), в рамках которых студенты первого курса в конце февраля-начале марта (период максимального накопления снегового покрова) выезжают в составе нескольких групп для проведения исследований, и производят полный цикл снегогеохимических исследований какого-либо района Прибайкалья, заканчивающийся представлением итоговых материалов на научных конференциях. В 2024 году объектом таких исследований стал обособленный микрорайон города Иркутска и территория прилегающего к нему поселка Боково. На этой территории проживает порядка 60 тысяч человек, она находится под комплексным воздействием различных источников машиностроения, теплоэнергетики, строительства, транспорта и т.д., и жители района, а также и природоохранные органы регулярно отмечают факты серьезного загрязнения атмосферного воздуха [\[10\]](#).

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). После отбора пробы снега доставлялись в Химико-аналитическую лабораторию Сибирской школы геонаук, аккредитованную в установленном порядке, где после снеготаяния и фильтрации 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 [\[15\]](#).

Результаты и обсуждение

На основе параметров объема пробы снега, в т.ч. площади шурфа, и массы твердого остатка, в первую очередь рассчитано количество пыли, выпавшее за весь снеговой сезон на 1 m^2 площади. На основании этих данных по стандартной методике построена карта пылевой нагрузки на изучаемой территории (рис.1) в зимний период с момента образования устойчивого снегового покрова (1 ноября 2023 г.) по дату пробоотбора (11

марта 2024 г.).

Как видно из рис. 1, и было отмечено в статье [10], в пределах изучаемой площади резко выделяются два участка с высоким уровнем сезонного накопления пыли – это территория возле компании «СтройПроектСервис» в северной части карты и территория парка «Комсомольский».

Также было вычислено выпадение пыли за единицу времени на единицу площади [6, 16, 17], т.е. количество пыли в мг, которое за сутки накопилось на 1 м² снега.

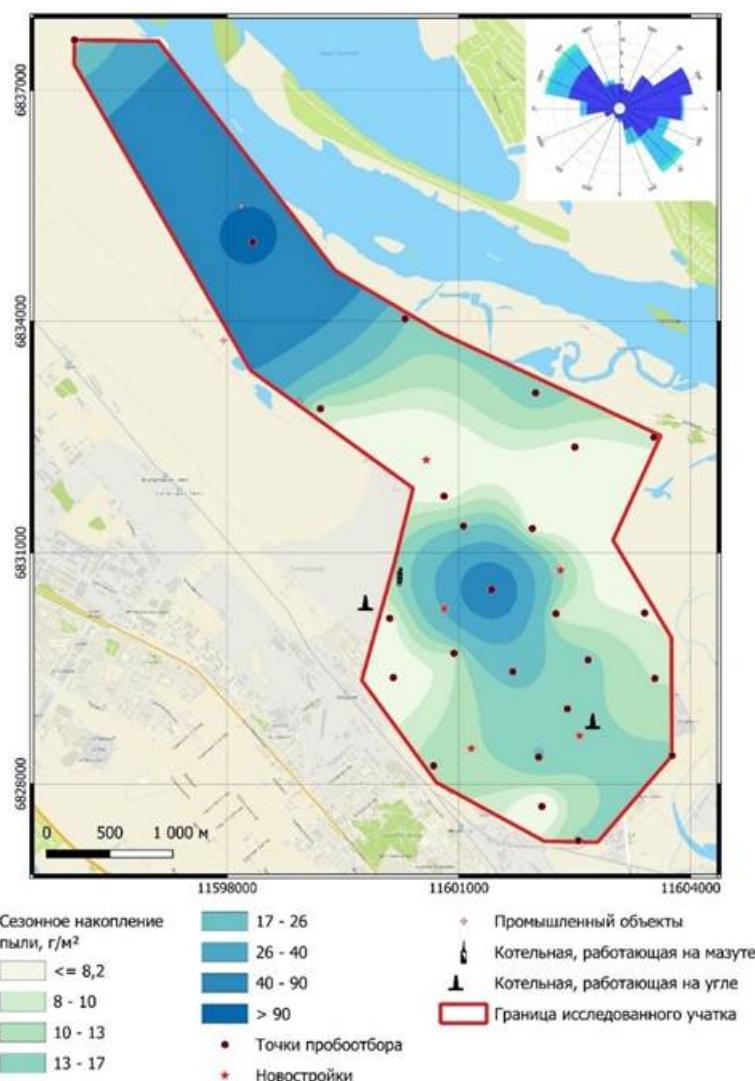


Рис. 1. Карта пылевой нагрузки в микрорайоне Иркутск-2 и поселке Боково в зимний период:

1 – точки пробоотбора; 2 – новостройки; 3 – промышленные объекты; 4 – дороги; 5 – котельная,

работающая на мазуте; 6 – котельная, работающая на угле; 7 – граница исследованного участка

Величина пылевой нагрузки рассчитывается по формуле:

$$P_n = P_o / (S * t)$$

P_n – величина пылевой нагрузки, мг/(м²*сут);

P_o – масса остатка на фильтре после фильтрации снеговой воды, мг;

S – площадь снегового шурфа, m^2 ;

t – количество суток от начала устойчивого снегового покрова до дня пробоотбора, сут.

На основании полученных данных также была построена карта посutoчной пылевой нагрузки (рис. 2). Аномалии здесь (рис. 2) безусловно повторяют аномалии с карты пылевой нагрузки за сезон (рис. 1), однако, с помощью этих данных мы можем уже объективно выделить зоны с повышенным уровнем загрязнения снежного покрова пылью.

Данные расчеты необходимым нам для выявления участков с высокими и низкими уровнями пылевой нагрузки. Сами по себе они являются стандартными и имеют утвержденную «Методическими рекомендациями по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве [\[16\]](#)» градацию по уровням пылевой нагрузки:

*Низкий уровень – $P_n < 250 \text{ мг}/(m^2 * \text{сут})$;*

*Средний уровень – $251 < P_n < 450 \text{ мг}/(m^2 * \text{сут})$*

*Высокий уровень – $451 < P_n < 850 \text{ мг}/(m^2 * \text{сут})$*

*Очень высокий – $P_n > 850 \text{ мг}/(m^2 * \text{сут})$.*

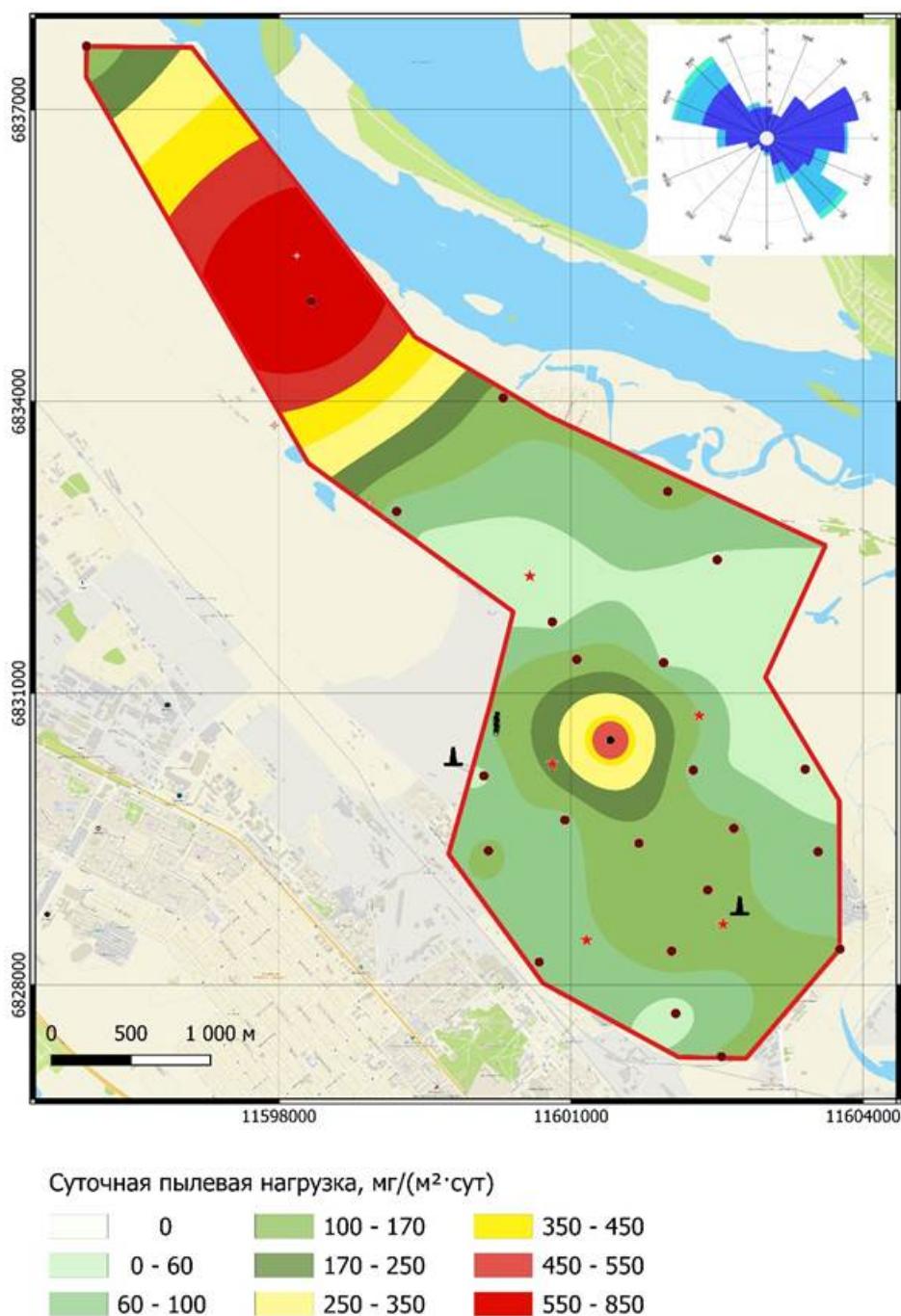


Рис. 2. Карта пылевой нагрузки в микрорайоне Иркутск-2 и поселке Боково за сутки:

зеленый цвет – низкий уровень пылевой нагрузки; желтый цвет – средний уровень пылевой нагрузки; красный цвет – высокий уровень пылевой нагрузки.

В соответствии с представленной градацией выделенные две зоны (территория компании СтройПроектСервис и территория парка Комсомольский) относятся к участкам с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха пылью. При этом важно отметить, что в районе промышленной площадки компании СтройПроектСервис фактическая пылевая нагрузка составляет 773 мг/(м²*сут), а на территории парка лишь 482 мг/(м²*сут). Из рис. 1 и 2 видно, что распределение пыли идет в полном соответствии с розой ветров. В отношении первой аномалии (компании СтройПроектСервис) загрязнение затрагивает промышленную площадку авиазавода, реку Ангару, а также северо-западную часть поселка Боково, которая попадает под высокий уровень загрязнения воздуха пылью. Второй аномалия (парк Комсомольский) также испытывает повышенную пылевую

нагрузку. В самом микрорайоне Иркутск-2 есть несколько явных неприземных источников загрязнения атмосферы – это котельные Авиазавода: работающие на мазуте и угле, которые расположены на основной территории и котельная на угле, расположенная в юго-восточной части поселка. В соответствии с розой ветров все они могут оказывать значительное влияние в виде переброса. При этом именно парк Комсомольский, располагаясь на пути движения продуктов выбросов котельных, имеет развитую зеленую зону, т.е. он обильно засажен высокими деревьями с широкой кроной, которые могут являться естественным барьером и накопителем для газопылевого потока.

После этого на основе данных о концентрациях и площадях шурфов было рассчитано поступление тяжелых металлов и мышьяка с пылевыми частицами за сезон. Для этого мы умножаем сезонное накопление пыли ($\text{г}/\text{м}^2$) на зафиксированное в твердом остатке на фильтре содержание конкретного элемента ($\text{мг}/\text{кг}$). Полученные значения показывают, какое количество конкретного вещества выпало на 1 м^2 изучаемой территории за снежный сезон (сезон 2023-2024 составил 132 дня). Для удобства визуального анализа и восприятия были построены карты распределения загрязняющих веществ с массой вещества на единицу площади (рис. 3-8). Согласно, «Методическим рекомендациям», такое геостатистическое построение также можно классифицировать [\[4\]](#) (рис. 3-8):

Низкий уровень загрязнения при выпадении поллютантов < 1000 мг/($\text{км}^2\text{сут}$) (белый и зеленый цвет на картах);*

Средний уровень загрязнения при выпадении поллютантов от 1000 до 5000 мг/($\text{км}^2\text{сут}$) (желтый оттенок на картах);*

Высокий уровень загрязнения при выпадении поллютантов от 5000 до 10000 мг/($\text{км}^2\text{сут}$) (красный оттенок на картах);*

Очень высокий уровень загрязнения при выпадении поллютантов > 10000 мг/($\text{км}^2\text{сут}$) (фиолетовый оттенок на картах).*

Для перехода в необходимую размерность общее накопление пыли на единицу площади за единицу времени ($\text{мг}/(\text{м}^2*\text{сут})$) умножается на концентрацию конкретного элемента ($\text{мг}/\text{кг}$) в твердом остатке на фильтре, в результате чего получается количество поллютанта, поступившего за сутки вместе со снежными осадками на единицу площади поверхности – квадратный километр ($\text{мг}/(\text{км}^2*\text{сут})$).

На рис. 3, 4, 5, 6, 7, 8 представлены карты по всем элементам по их концентрации в пыли ($\text{мг}/\text{кг}$), по их удельной накопленной нагрузке на единицу площади за сезон ($\text{г}/\text{м}^2$) и по зонированию территории по уровню загрязнения ими единицы территории ($\text{мг}/(\text{км}^2*\text{сут})$).

Из рис. За следует, что на большей территории микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково уровень загрязнения мышьяком при его выпадении вместе с пылью соответствует среднему - от 1000 до 5000 мг/($\text{км}^2*\text{сут}$). Высокий уровень загрязнения встречается в районе промплощадки компании СтройПроектСервис, а также с пробных площадок в парке Комсомольский, малоэтажной застройки в районе железнодорожной станции «Заводская», а также района промплощадки территории-2 Авиазавода «Объект» от котельной и до юго-восточной окраины поселка (в связи с отсутствием возможности пробоотбора на закрытой территории-2 Авиазавода на рис. За особенности интерполяции разделили этот общий участок на 2 соседние локальные зоны). Сезонное поступление

мышьяка имеет такой же характер (рис 3в).

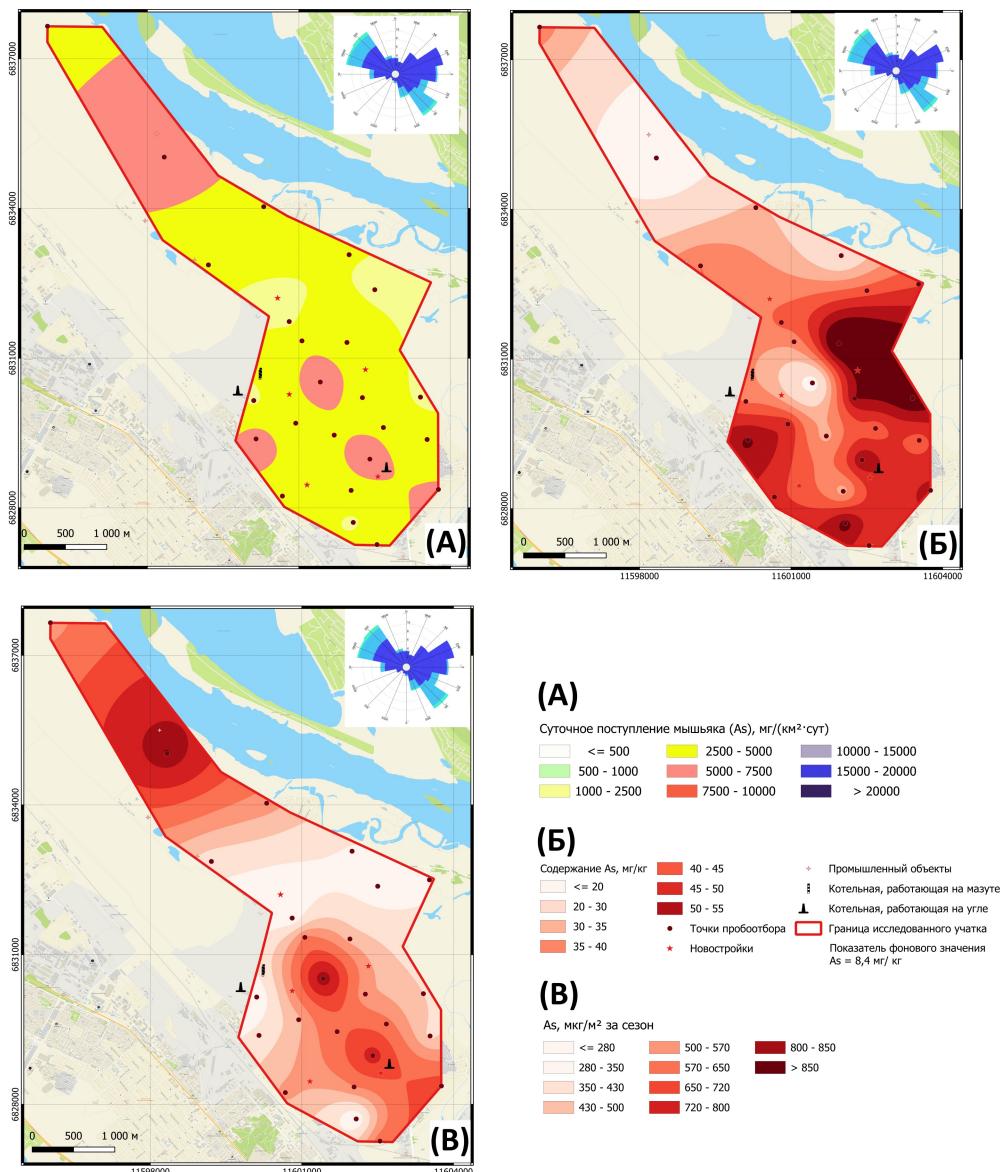


Рис. 3. Карта техногенной нагрузки по мышьяку на территорию микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А) - уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, ($\text{мг}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут})$); (Б) – концентрация поллютанта в пыли ($\text{мг}/\text{кг}$); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон ($\text{г}/\text{м}^2$).

При сравнении рис. 3б и 3в сразу заметна инверсия аномалий, т.е. при пересчёте концентраций на удельную накопленную нагрузку картина меняется на противоположную – те точки, в которых концентрация веществ минимальна, показывают максимальное абсолютное накопление загрязняющих веществ. При этом наибольшие концентрации мышьяка в остатке после фильтрации максимальны в частном секторе в районе улиц Моторный проезд и Речная (около 7 раз относительно фона). Концентрации также высокие на юго-западе – вероятно, приурочены к железнодорожным путям, на юго-востоке – к дополнительной территории 2 Авиазавода - «Объект».

Из рис. 4 видно, что в целом по свинцу ареолы аномалии по всем типам оценки техногенной нагрузки (рис. 4а, б и в) повторяют ареолы по мышьяку.

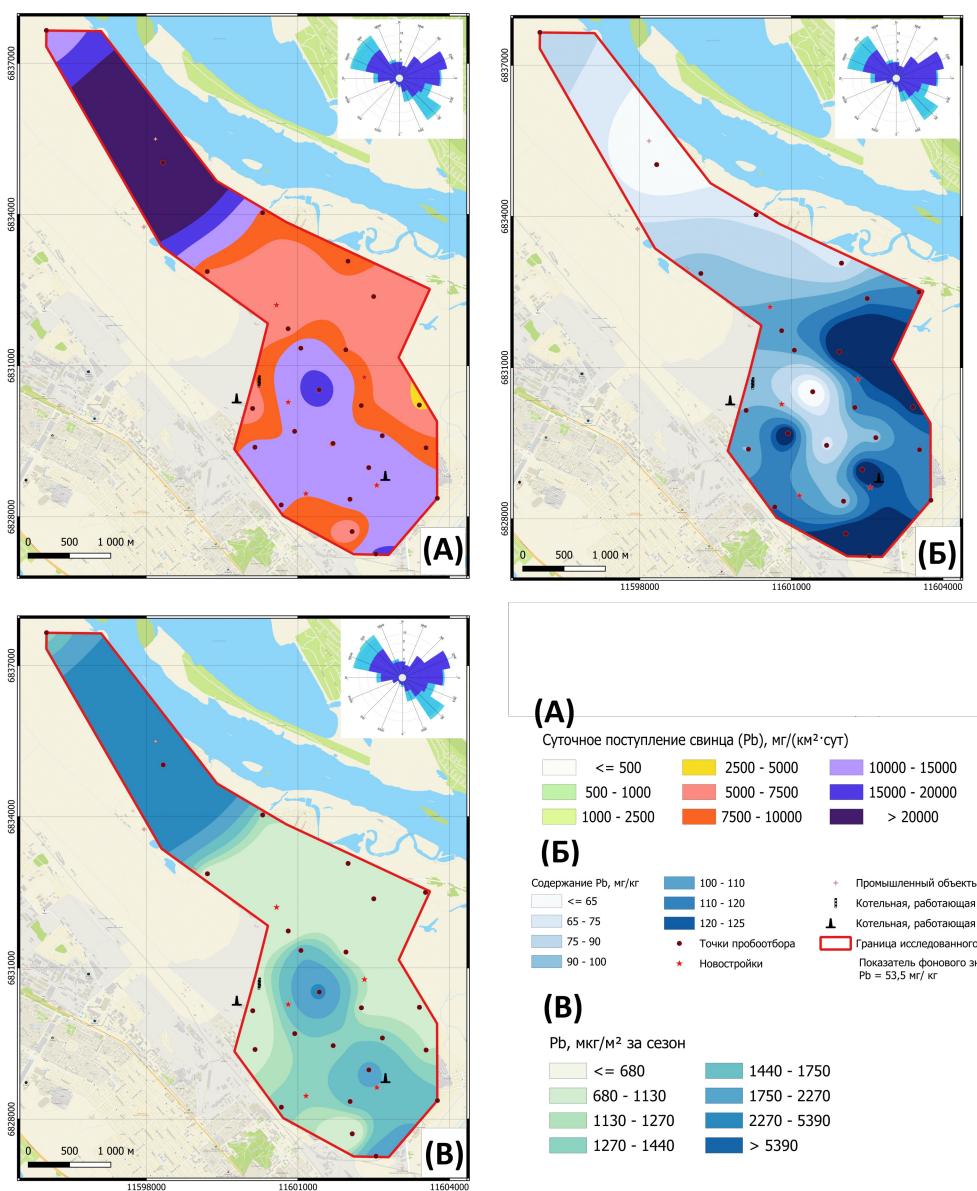


Рис. 4. Карта техногенной нагрузки по свинцу на территории микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А) - уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, (мг/(км²*сут)); (Б) – концентрация поллютанта в пыли (мг/кг); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон (г/м²).

Однако, уровень загрязнения (рис.4а) на аномалиях относится к очень высокому, на остальной изученной территории – высокий. Также, как и у мышьяка, явно присутствует инверсия аномалий (рис. 4б и в). Концентрации свинца в пробе при этом довольно невысокие – в аномальных зонах превышение фона до 3 раз.

Из рис. 5 (а и в) видно, что основные зоны локализации повышенной суточной и сезонной нагрузки хрома связаны с техногенными источниками: промплощадкой компании СтройПроектСервис, а также промплощадкой территории-2 Авиазавода «Объект» с котельной и различными цехами, и распространяются в соответствии с розой ветров.

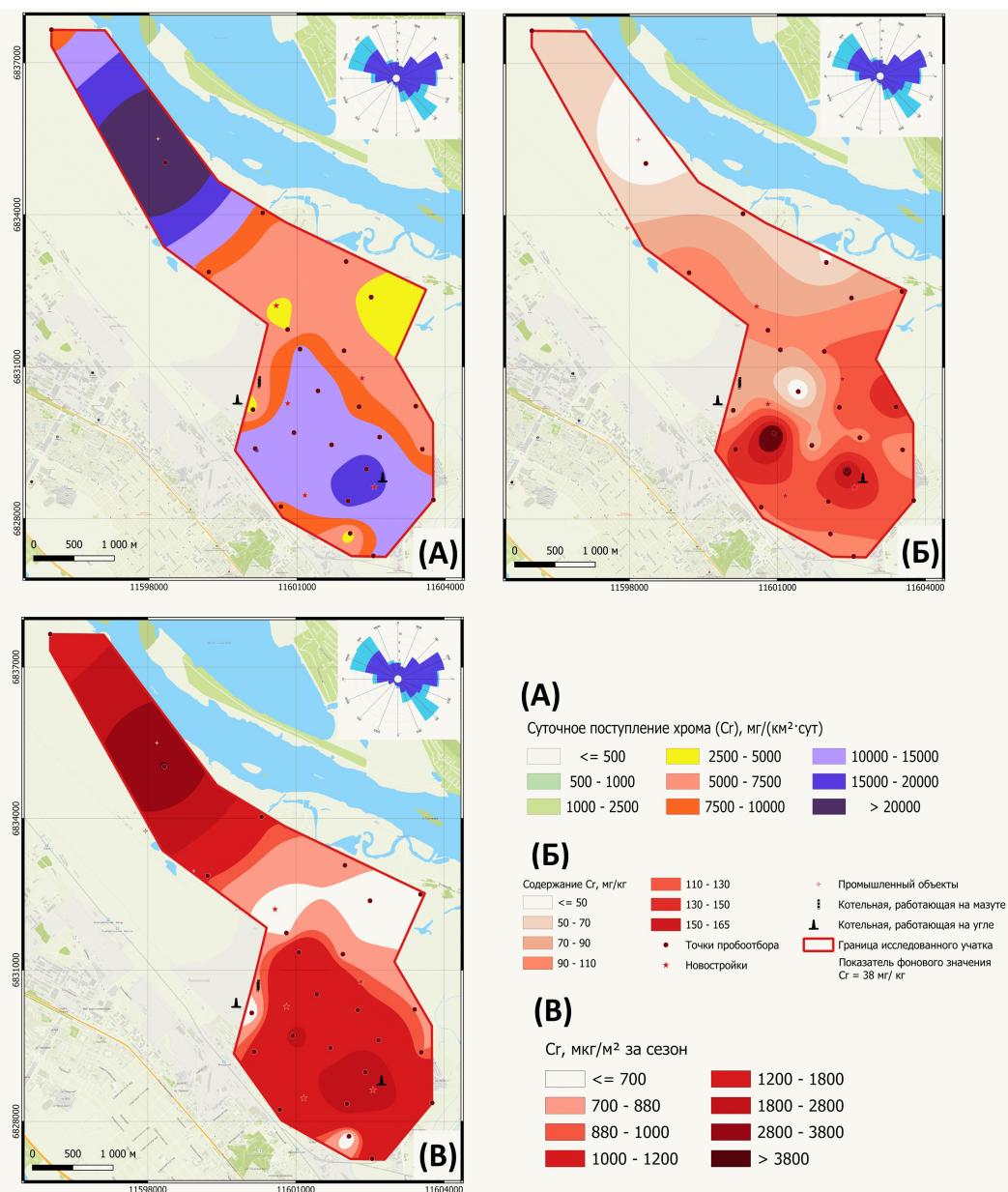


Рис. 5. Карта техногенной нагрузки по хрому на территорию микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А) - уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, ($\text{мг}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут})$); (Б) – концентрация поллютанта в пыли ($\text{мг}/\text{кг}$); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон ($\text{г}/\text{м}^2$).

При этом наибольшая концентрация хрома (рис. 5б) (в 4.5 раза превышение фона) отмечается в жилой зоне на пересечении улицы Муравьева с улицами от Мира до Почтамской и лишь на одной из вышеупомянутых промплощадок – территории-2 Авиазавода. Концентрация хрома в единице объема газопылевых потоков СтройПроектСервиса очевидно невысокая.

По кобальту на изучаемой территории уровень техногенной нагрузки вполне приемлемый (рис. 6а) – низкий и средний, выделяется лишь одна пробная площадка в парке с высоким уровнем (рис. 6а, в). Значительных превышений концентраций в пробах по кобальту также не выявлено – максимальные составляют 3-9 раз и расположены вдоль улицы Новаторов между перпендикулярными ей улицами Авиастроителей и Ленинградской, а также к юго-востоку от территории-2 Авиазавода.

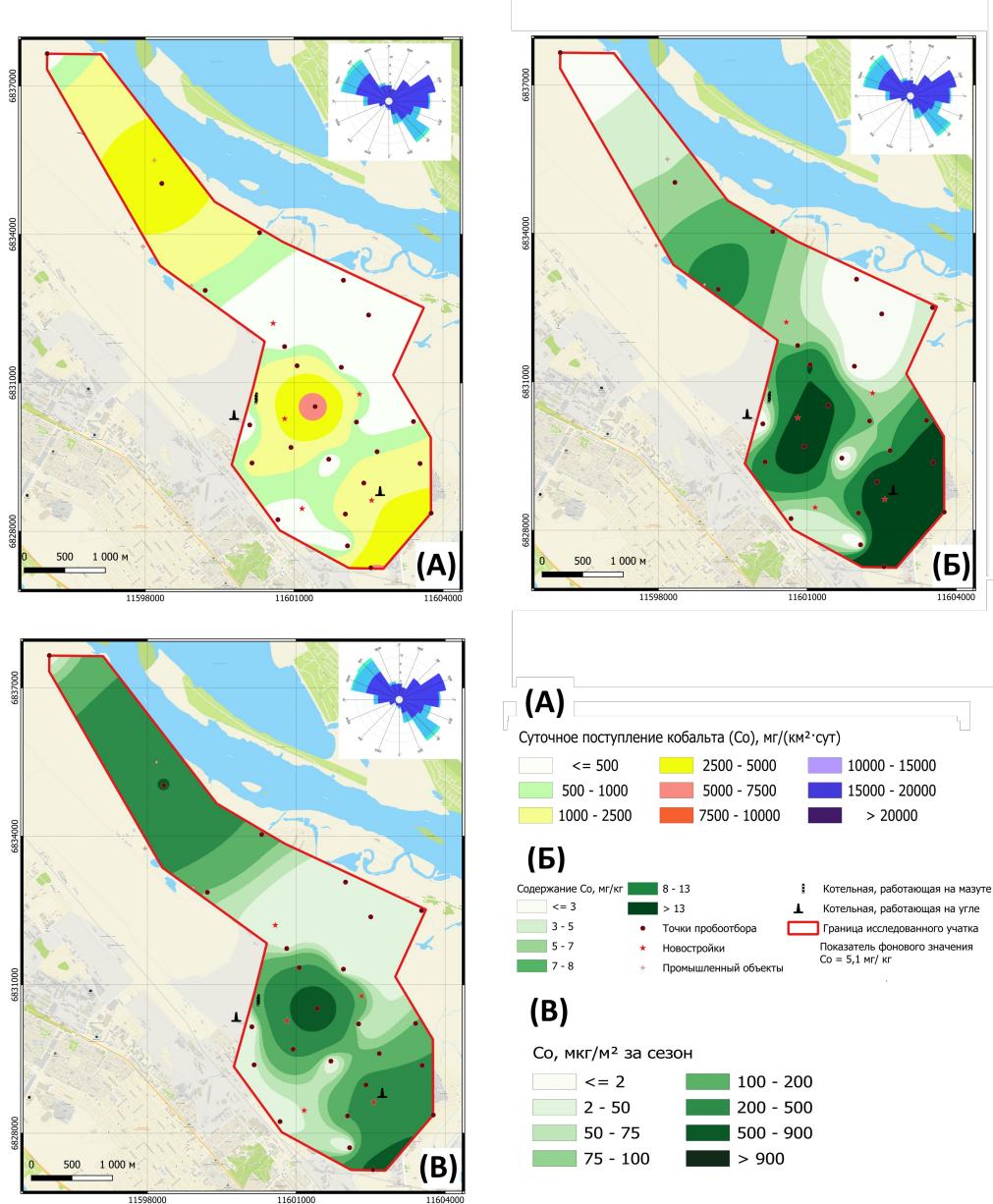


Рис. 6. Карта техногенной нагрузки по кобальту на территорию микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А) - уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, ($\text{мг}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут})$); (Б) – концентрация поллютанта в пыли ($\text{мг}/\text{кг}$); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон ($\text{г}/\text{м}^2$).

По количеству меди, выпадающей вместе с пылевыми частицами за сутки, вся исследованная территория относится к очень высокому уровню загрязнения (рис. 7а). На рис. 7в более четко выделяются две аномалии, приуроченные все также к территории промплощадки СтройПроектСервис и центральной части микрорайона, находящейся в зоне влияния двух площадок Авиазавода: территория-1 на западе и территория-2 на юго-востоке. При этом наибольшее сезонное накопление меди отмечается на одной из пробных площадок этой аномалии - в парке Комсомольский. В данном случае, возможно, деревья парка играют роль воздушного фильтра, способствуя осаждению взвешенной пыли. А вот наибольшая концентрация меди в пробах обнаруживается в твердом остатке после фильтрации снега, отобранного в частном секторе в районе улиц Моторный проезд и Речная на северо-востоке микрорайона. На картах (рис. 7б и в) распределения концентраций и сезонной техногенной нагрузки по меди также явна заметна инверсия

вывлеченных аномалий.

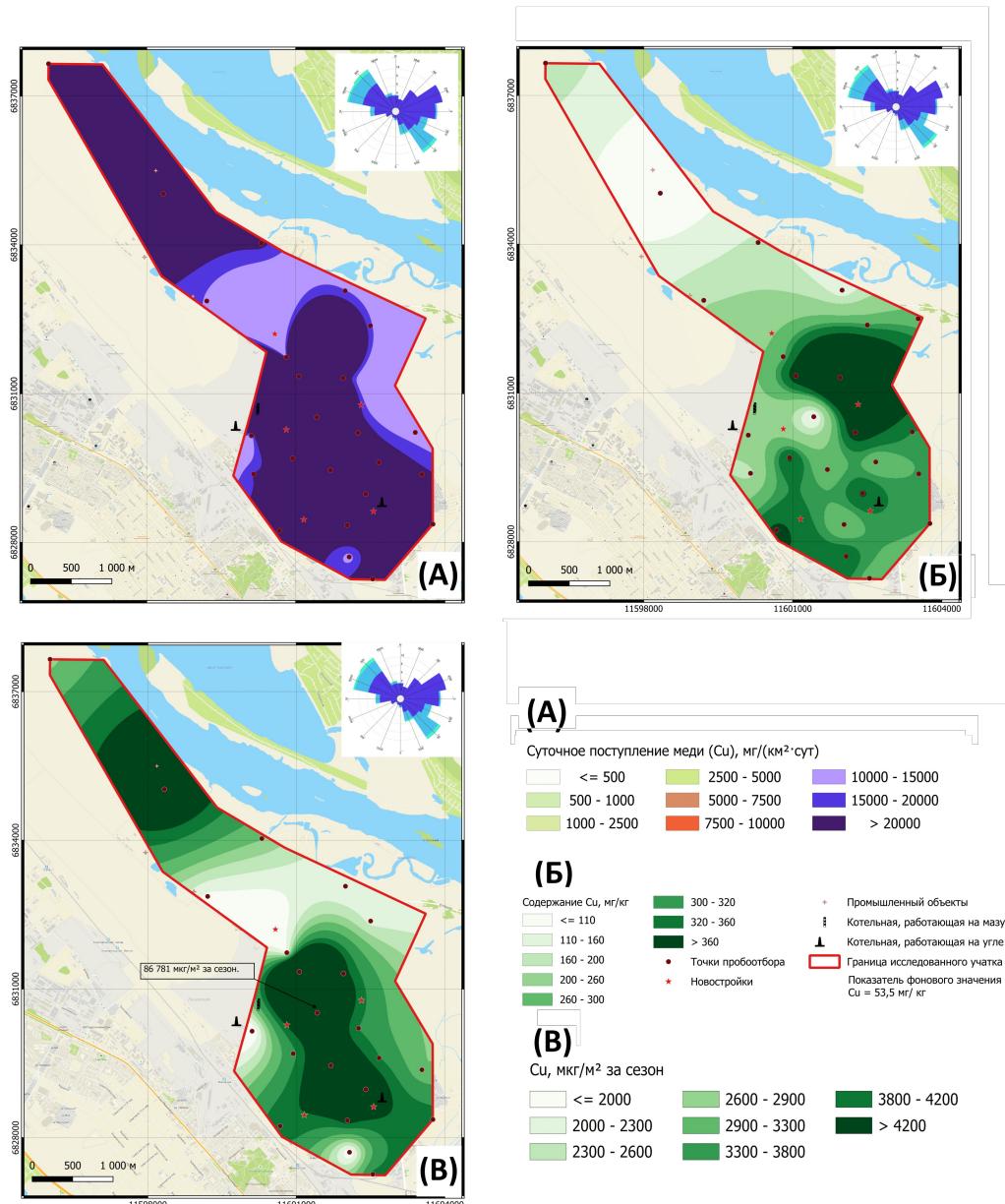


Рис. 7. Карта техногенной нагрузки по меди на территорию микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А) - уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, (мг/(км²*сут)); (Б) - концентрация поллютанта в пыли (мг/кг); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон (г/м²).

По суточной нагрузке никеля уровень загрязнения на большей части обследованной территории относится к очень высокому уровню загрязнения (рис. 8а).

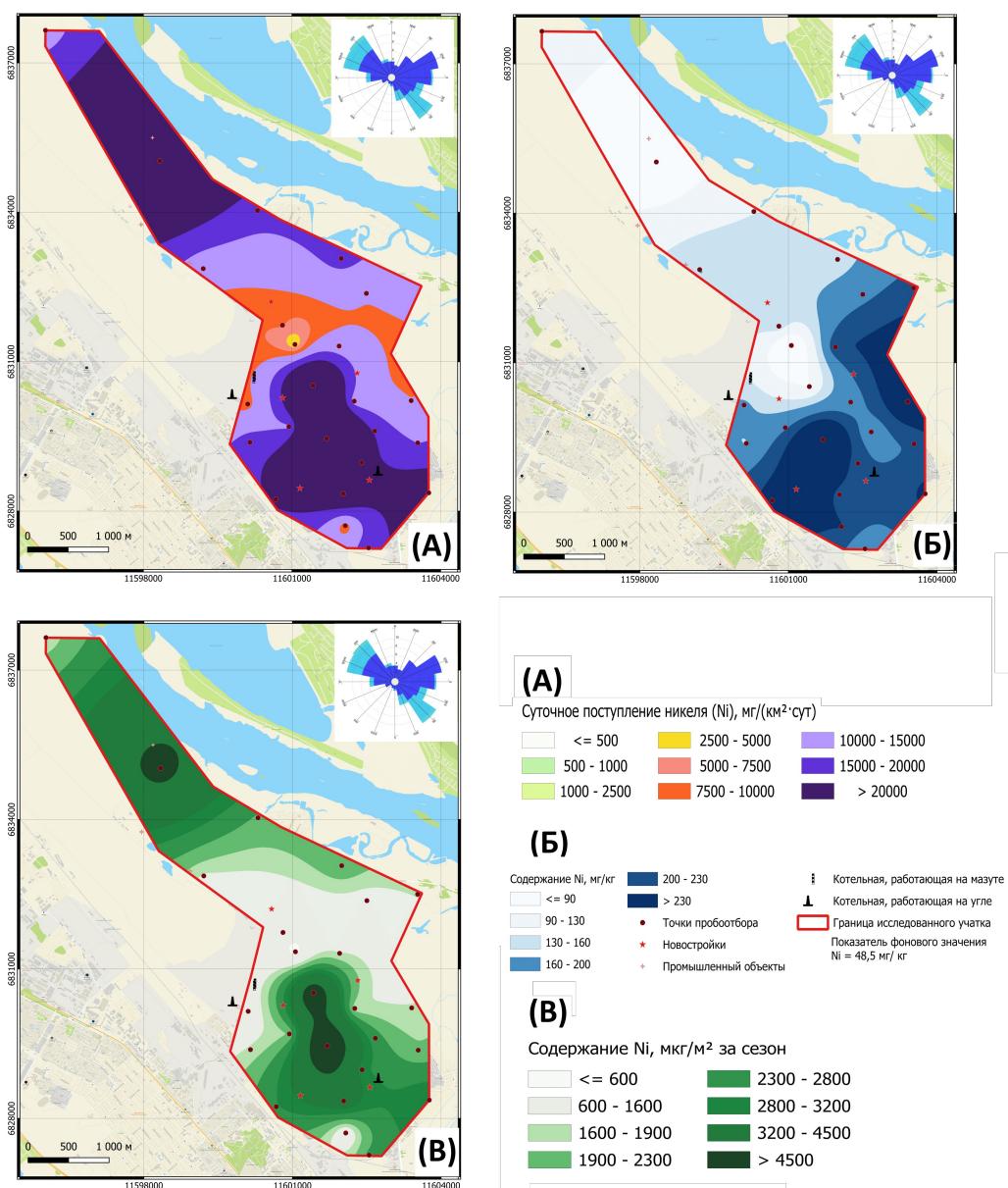


Рис. 8. Карта техногенной нагрузки по никелю на территорию микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А) - уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, ($\text{мг}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут})$); (Б) – концентрация поллютанта в пыли ($\text{мг}/\text{кг}$); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон ($\text{г}/\text{м}^2$).

Выделяется узкая зона с высоким уровнем загрязнения между двумя источниками негативного воздействия - промплощадкой СтройПроектСервис и территорией-2 Авиазавода, где количество никеля, переносимого с пылью, чуть ниже, чем на остальной территории. На картах (рис. 8б и в) инверсия аномалий выделяется лишь для территории промплощадкой СтройПроектСервис – концентрация в пробе низкая, но количество пыли очень большое, отсюда и большое сезонное поступление никеля. В центральной части микрорайона ситуация несколько иная: повышенная концентрация никеля фиксируется от района железнодорожной станции «Заводская» между улицами Шпачека и Муравьева до их пересечения с улицей Сибирских партизан, а также в нежилой зоне северо-востока микрорайона. Дополнительная зона повышенной удельной сезонной нагрузки (не считая территорию СтройПроектСервиса) расположена в двух зеленых зонах: парк Комсомольский и сквер на пересечении ул. Муравьева и Сибирских

партизан. При этом сквер попадает в аномалии и на рис. 8б и 8в, это означает, что именно в этой зоне идет накопление пылевых потоков, содержащих никель.

Как видно из рисунка (рис. 9а) суточное поступление цинка имеет очень высокий уровень воздействия на изучаемую территорию. Повышенные зоны удельной накопленной нагрузки по цинку (рис. 9б) соответствуют зонам на карте пылевой нагрузки (рис. 2): промплощадка СтройПроектСервис и зона влияния территории-2 Авиазавода «Объект» в северо-западном и юго-восточном направлении. На карте концентраций (рис. 9б) зона влияния котельной частично совпадает с зоной удельной накопленной нагрузки за сезон по этому элементу, однако, тут выделяется низкая концентрация цинка в объеме пыли в парке «Комсомольский». Т.е. общий объем пыли, задерживающийся в снежном покрове в районе парка очень высокий (рис. 2), удельная нагрузка по цинку тоже достаточно высокая, но концентрация цинка в снеге этой территории при этом низкая. Скорее всего это означает, что объем пыли, задерживающейся в районе парка обусловлен разными источниками, и сконцентрирован в гораздо большем объеме, чем на сопряженных территориях, также находящихся в зоне влияния источников выбросов с территории-2 Авиазавода, с меньшей плотностью деревьев на единицу площади. При этом другая зеленая зона - сквер на пересечении ул. Муравьева и Сибирских партизан, тоже находящийся в зоне влияния выбросов территории-2 имеет аномалии и на карте концентраций, и на карте накопленной удельной сезонной нагрузки (рис. 9б и в). Это вероятнее всего означает, что других источников пыли на этой территории нет, а деревья сквера выступают в роли фильтра и накапливают пыль вместе с содержащимся в ней цинком на своей территории, увеличивая его содержание относительно соседних площадок. В районе СтройПроектСервиса снова наблюдаем инверсию аномалий на картах концентраций и удельной сезонной нагрузки (рис. 9б и в).

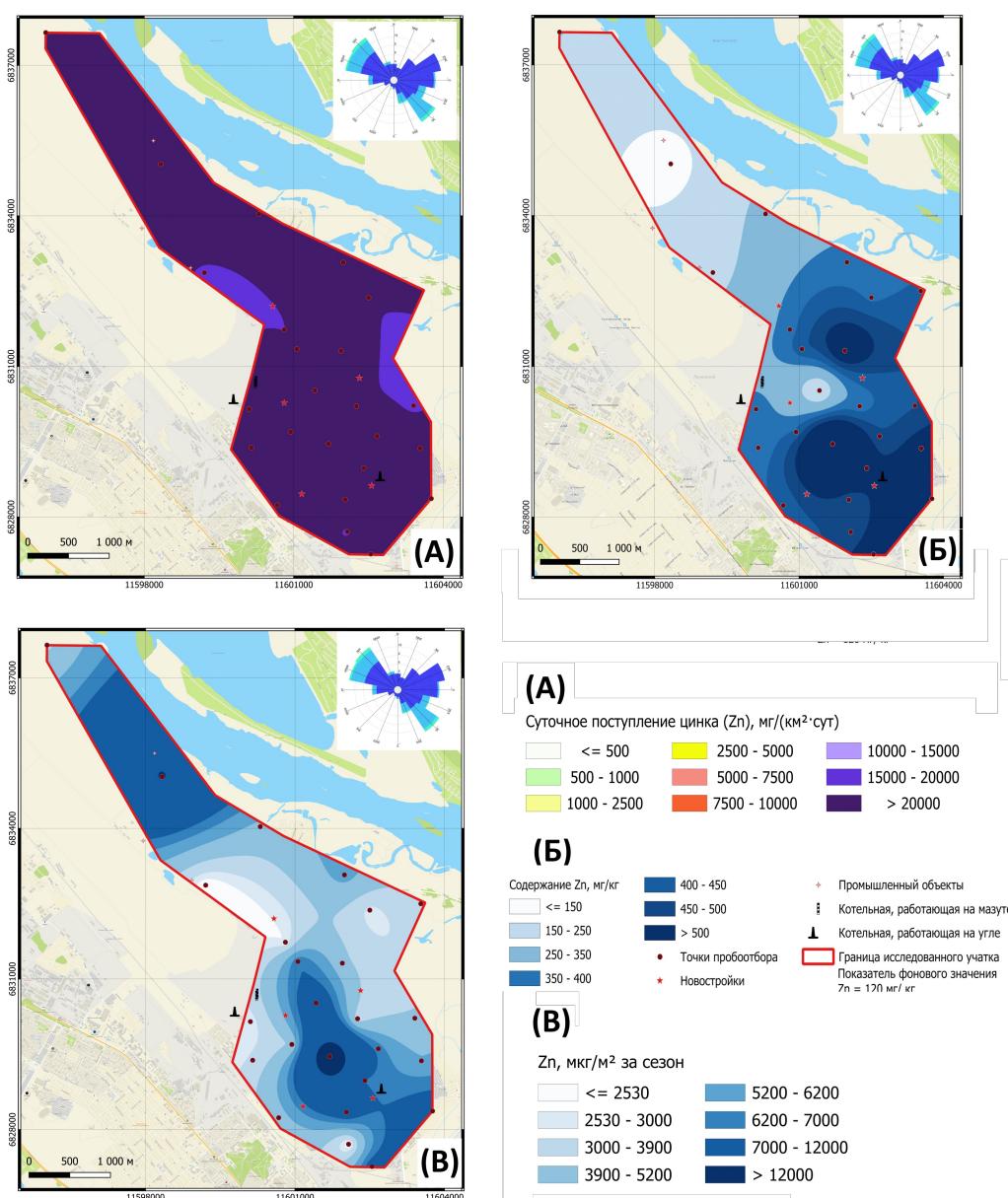


Рис. 9. Карта техногенной нагрузки по цинку на территорию микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А)- уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, $(\text{мг}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут}))$; (Б) – концентрация поллютанта в пыли ($\text{мг}/\text{кг}$); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон ($\text{г}/\text{м}^2$).

Как видно из рисунка (рис. 10а) суточное поступление марганца, как и цинка имеет повсеместный очень высокий уровень воздействия на изучаемую территорию. Карты аномалий концентраций и удельной накопленной сезонной нагрузки не совпадают (рис. 10б и в), однако и максимальные превышения фонового значения не особо существенные – 1,5-2 раза.

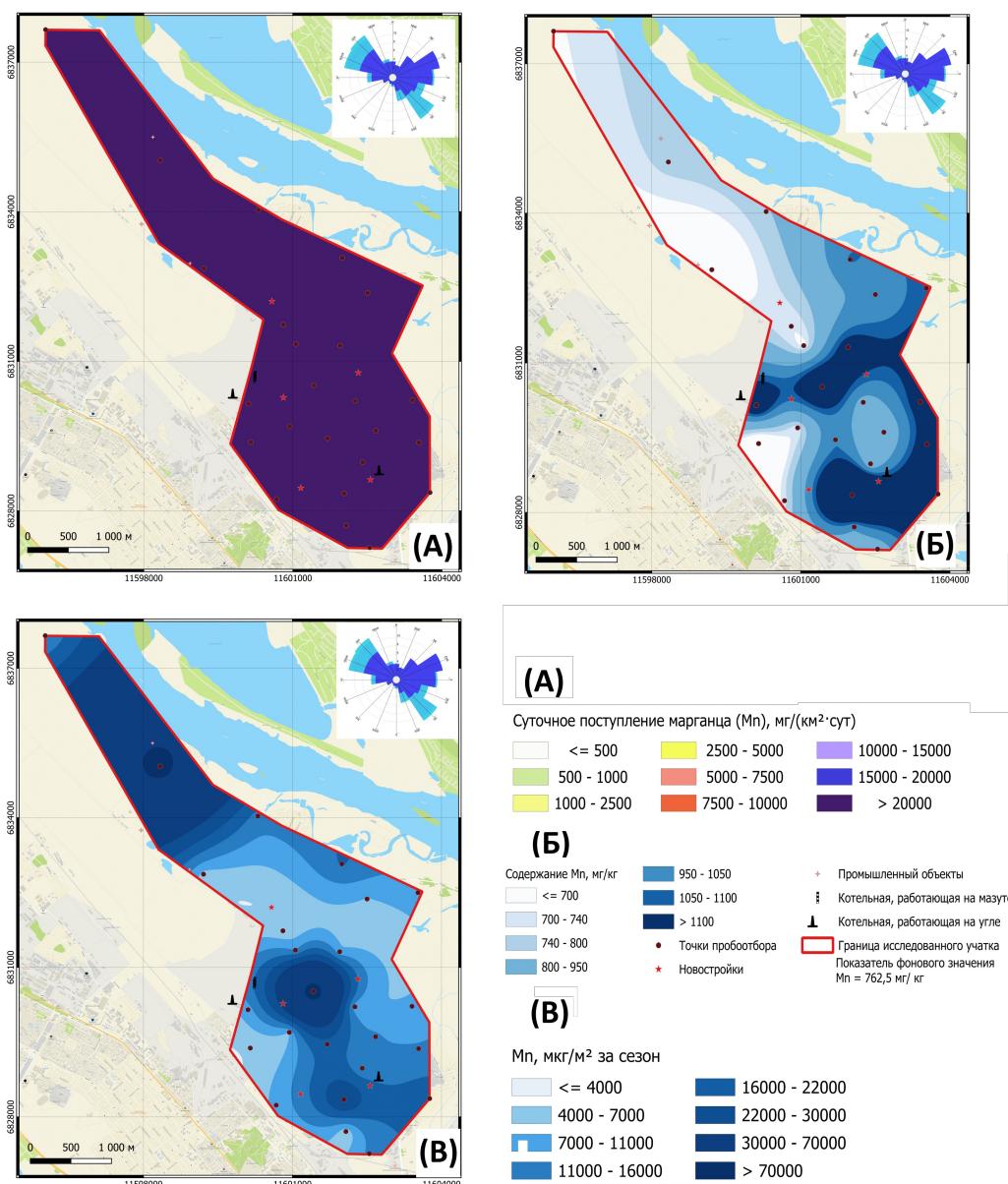


Рис. 10. Карта техногенной нагрузки по марганцу на территорию микрорайона Иркутск-2 и поселка Боково: (А) - уровень загрязнения при выпадении поллютанта вместе с пылевыми частицами, ($\text{мг}/(\text{км}^2 \cdot \text{сут})$); (Б) – концентрация поллютанта в пыли ($\text{мг}/\text{кг}$); (В) - удельная накопленная нагрузка поллютанта на единицу площади за сезон ($\text{г}/\text{м}^2$).

Выводы

Сопоставительный анализ картографических материалов, отражающих концентрации поллютантов в твердом остатке снегового покрова и других вариантов картографирования на основе тех же исходных данных снегогеохимической съемки – карт суточных поступлений веществ и карт техногенной нагрузки за сезон, убедительно показывает, что в случае существенно различной пылевой нагрузки в пределах изучаемой площади, обычные карты концентраций лучше не строить и не использовать. Показано, что стандартный вариант картирования в показателях $\text{мг}/\text{кг}$ и подобных формирует существенно искаженное представление о степени аномальности влияния каждого поллютанта на окружающую среду изучаемой территории, в серии примеров для различных элементов показаны эффекты вплоть до инверсии аномалий. Так, в ситуациях, когда на участке с сильно загрязнённым воздухом, где поступление

различных загрязняющих веществ находится на высоком уровне, вследствие большого объема пыли в пробах, к которому относится содержание каждого поллютанта при химических исследованиях, карты концентраций дают низкие оценки загрязненности в точках, что искажает экологический смысл данных.

На основе дополнительных картографических материалов более полно по сравнению с предыдущим исследованием района охарактеризовано загрязнение атмосферного воздуха в микрорайоне Иркутск-2 города Иркутска и прилегающих пригородах. Показано, что в данном случае строительная компания СтройПроектСервис, локализованная в северной части изучаемой площади, производит в процессе своей деятельности большое количество неорганической пыли с низкими концентрациями, но высокими абсолютными количествами поступления мышьяка и тяжелых металлов в ней. Территория-2 Иркутского Авиационного завода также является источником выброса газопылевых смесей, с более высокими концентрациями в ней загрязняющих веществ, но меньшей общей массой. Эта ситуация находит свое отражение в различных вариантах картографирования в виде выделяющихся аномалий на этой территории почти на всех картах распределения концентраций и удельной накопленной сезонной нагрузки загрязнителей.

Показано, что зеленые зоны микрорайона Иркутск-2, расположенные в зонах влияния источников негативного воздействия промышленных площадок Авиазавода, (парк Комсомольский, сквер на пересечении ул. Муравьева и Сибирских партизан) за счет более высокой плотности деревьев являются естественными фильтрами и соответственно накопителями газопылевых потоков, увеличивая концентрацию поллютантов в рамках своих территорий. При этом сами они источниками загрязнений не являются.

По результатам анализа различных видов картографических материалов становится очевидно, что при оценке загрязнения снежного покрова необходимо рассматривать все характеристики загрязнения: концентрацию загрязняющих веществ в пробе, суточное удельную нагрузку, сезонную накопленную удельную нагрузку. Только сравнение и анализ всех этих характеристик позволяет получить объективную картину распределения и загрязнения от выявленных источников.

Библиография

1. Негров О.П., Астанин И.К., Стародубцев В.С., Астанина Н.Н. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2005. № 2. С. 149-153. - EDN IIYQZN.
2. Снежный покров как индикатор загрязнения природной среды // Российско-шведский проект "KOLA REGIONAL ENVIRONMENTAL PROJECT (KREP)", 2020, <https://www.murman.ru/ecology/krep/snow2.html> (режим доступа на 23.04.2025).
3. 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. DOI: 10.12737/article_59acefad173a0.77430776 EDN: ZGUGMP.
4. 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 UZZJITD.
5. Мищенко О.А., Шелганова А.А. Мониторинг состояния снежного покрова на территории Хабаровского края // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9. № 3. DOI 10.15862/11ECOR322. EDN QUVJWR.

6. Филимонова Л.М., Паршин А.В., Бычинский В.А. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 75-84. EDN UYCNVJ.
7. Chemical composition of atmospheric particulate matter in the winter season as indicator of environment quality within urban areas / A. V. Talovskaya, V. D. Kirina, T. S. Shakhova [et al.] // Pure and Applied Chemistry. - 2021. - Vol. 94, No. 3. - P. 249-256. - DOI 10.1515/pac-2021-0313. - EDN SSYPYK.
8. 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.
9. Грачева И.В. Минерализация и кислотно-щелочные свойства снегового покрова промышленных городов Челябинской области // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2010. № 135. EDN: NCBEHH.
10. Качор О.Л., Паршин А.В., Икрамов З.Л., Трусова В.В., Курина А.В. 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. С. 6-23.
<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-1-6-23>. EDN: NOSJSD.
11. X-ray Fluorescence Analysis of Snow Cover Solid Phase for Investigation of Emissions by Aluminum Industry and Combined Heat and Power Complex / A. A. Amosova, V. M. Chubarov, S. N. Prosekin, E. V. Kaneva // Atomic Spectroscopy. 2023. Vol. 44, No. 3. P. 169-177. DOI 10.46770/AS.2023.115. - EDN PVRTYZ.
12. Баранов А.Н., Савченко Е.И., Пескова Т.А. Математическая обработка результатов исследования снежного покрова // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли : Материалы V Байкальской международной научной конференции-стратегической сессии, Иркутск, 19-23 июня 2023 года. - Иркутск: Репроцентр А1, 2023. - С. 41-44. - EDN WHHVPK.
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. Как определить эффективность работы научно-образовательного кластера вуза: кейс ИРНИТУ-Институт "Сибирская школа геонаук" / М. В. Корняков, Т. Ю. Красикова, А. В. Паршин, А. Н. Шевченко // ЭКО. 2024. № 4(598). С. 222-242. DOI 10.30680/ECO0131-7652-2024-4-222-242. EDN XSNGLA.
15. 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.
16. 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
17. 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.

Результаты процедуры рецензирования статьи

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

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

Предметом изучения является оценка методики геоинформационного картографирования при исследовании загрязнения атмосферы методом анализа твердого остатка в сугробном покрове (на примере обособленных районов г. Иркутска, южное Прибайкалье).

Тема исследования актуальна. В антропогенно-измененных территориях наличие источников загрязнения формирует устойчивую вероятность осаждения загрязнителей вблизи источника их формирования, причем на долю сухих выпадений может приходиться от 70 до 90% от общего загрязнения. Снежный покров накапливает в себе загрязняющие вещества в процессе сухого и влажного вымывания поллютантов из атмосферного воздуха. Концентрация загрязняющих веществ в сугробном покрове изучаемой территории оказывается на несколько порядков выше, чем в атмосферном воздухе. В регионах с длительной зимой исследования загрязнения атмосферы методом отбора проб сезонного снега на площади и изучением его химических параметров является наиболее информативным способом оценки качества воздуха. Геоинформационное картографирование (карты, схемы, картограммы), является наиболее информативным и удобным для анализа видом представления геоданных.

Методология исследования основана на применении методов химико-аналитических исследований талой сугробной воды методом ICP-AES и твердого остатка на фильтрах методом XRF. Методом картографирования были построены карты концентраций веществ в воде и твердом осадке и дана их интерпретация. Отбор проб осуществляется 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. После снеготаяния и фильтрации осуществлялся химический анализ твердого остатка на фильтрах и отфильтрованной талой воде. Анализ твердого остатка проводился рентгенофлуоресцентным методом.

Научная новизна исследований в статье заключается в том, что впервые в данной работе авторы анализируют проблему информативной картографической визуализации результатов исследований твердой фазы сугробового покрова для совершенствования наиболее экспрессного подхода к геохимической оценке территорий, основанного на изучении химического состава твердого остатка с помощью неразрушающего РФА-анализа.

Стиль статьи – научный. Автором в статье представлен собственный материал исследования, обогащенный достаточным количеством расчетных данных, иллюстрирован доступным картографическим материалом по накоплению разнообразных тяжелых металлов в снеге анализируемого района. Объем статьи и ее структура соответствуют требованиям журнала. Автором показано, что стандартный вариант картирования загрязнителей в показателях мг/кг формирует существенно искаженное представление о степени аномальности влияния каждого поллютанта на окружающую среду изучаемой территории, в серии примеров для различных элементов показаны эффекты вплоть до инверсии аномалий. Для получения правдивой информации о

загрязнении необходимо учитывать комплекс показателей: концентрацию загрязняющих веществ в пробе, суточную удельную нагрузку, сезонную накопленную удельную нагрузку поллютанта. Эта ситуация находит свое отражение в различных вариантах картографирования в виде выделяющихся аномалий на этой территории почти на всех картах распределения концентраций и удельной накопленной сезонной нагрузки загрязнителей.

Библиография статьи включает в себя 17 литературных источников, в том числе 2 - на иностранном языке. Апелляция к оппонентам состоит в ссылках на литературные источники.

Выводы в статье обоснованы и отражают результаты проведенных исследований. Автором установлено, что по результатам анализа различных видов картографических материалов при оценке загрязнения снежного покрова необходимо рассматривать все характеристики загрязнения: концентрацию загрязняющих веществ в пробе, суточную удельную нагрузку, сезонную накопленную удельную нагрузку, что позволяет получить объективную картину распределения и загрязнения от выявленных источников.

Данная статья будет полезна широкому кругу ученых и может быть опубликована в журнале «Арктика и Антарктика». Существенных замечаний по статье не отмечено, по тексту имеются опечатки, которые необходимо исправить.