

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

На правах рукописи

Филимоненко Екатерина Анатольевна

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ НЕРАСТВОРИМОЙ И
РАСТВОРИМОЙ ФАЗ СНЕГА (НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)**

25.00.36 – Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук,

профессор Язиков Е.Г.

Томск – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 НЕРАСТВОРИМАЯ И РАСТВОРИМАЯ ФАЗЫ СНЕГА КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА	14
2 КРАТКАЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ	19
2.1. Природно-климатическая характеристика Томской области и г. Томска	19
2.2. Геоэкологическая характеристика Томской области и г. Томска	23
3 МЕТОДИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	37
3.1 Общая методика работ. Опробование снежного покрова	37
3.2 Аналитическое обеспечение исследований	44
3.3 Методика обработки данных	49
4 ПЫЛЕВАЯ И РТУТНАЯ НАГРУЗКА НА ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	54
4.1 Пылевая нагрузка и особенности элементного состава нерастворимой фазы снега в окрестностях локальных котельных в населенных пунктах Томской области	54
4.2 Пылевая нагрузка на снежный покров населенных пунктов Томской области	57
4.3 Ртутная нагрузка на территории населенных пунктов Томской области	64
5 ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ТОМСКОЙ ГРЭС-2 ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ НЕРАСТВОРИМОЙ И РАСТВОРИМОЙ ФАЗ СНЕГА	73
5.1 Пылевая нагрузка на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2	73
5.2 Геохимическая характеристика нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2	78
5.3 Ионный состав растворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2	95
5.4 Химические элементы в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2	100
6 МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ НЕРАСТВОРИМОЙ ФАЗЫ СНЕГА В ОКРЕСТНОСТЯХ ТОМСКОЙ ГРЭС-2	109
6.1 Микроминеральный состав взвешенных атмосферных частиц и нерастворимой фазы снега на территории г. Томска	109

6.2 Минерально-вещественный состав нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 и других промышленных предприятий г. Томска	111
6.3 Микроминеральные формы нахождения металлов и металлоидов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2	115
6.4 Сферические техногенные образования в составе нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	132
ЛИТЕРАТУРА	133

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая отрасль производства является базовым сегментом в экономике любого региона и страны, обеспечивающим возможность его существования и развития, поскольку все остальные виды производства напрямую зависят от ее продукции – энергии. Энергетическая отрасль подразделяется на ряд основополагающих подотраслей – нефтяную, газовую, угольную, теплогенерирующий сектор и другие.

Согласно прогнозу Института энергетических исследований РАН (Прогноз..., 2014) рост потребления первичной энергии к 2040 г. возрастет на 46% по отношению к уровню 2010 года. При этом спрос вырастет на все энергоносители: нефть – на 19%, уголь – на 36%, газ – на 64%, атомную энергию – на 72%, возобновляемые источники энергии – на 92%. Более половины всего спроса на энергоресурсы (для России – 42%) к 2040 г. будет приходиться на сектор электрогенерации (Прогноз..., 2013). Так, тепловые электростанции к 2040 году будут обеспечивать более 70% (для России – 62–63%) генерации электроэнергии (Прогноз..., 2014). На перспективу до 2040 г. сохранится доминирующая роль угольной генерации – уголь будет обеспечивать наибольший прирост производства электроэнергии по сравнению со всеми остальными видами топлива и к 2040 году будет давать 38% выработки, однако экологические ограничения приведут к заметному замедлению темпов его роста и снижению доли в топливной корзине (Прогноз..., 2014).

Согласно прогнозам, возрастающая эффективность использования энергетических ресурсов при увеличении объемов их использования, не обеспечит стабилизации объемов выбросов загрязняющих веществ. Единственным «экологическим маркером» выбросов загрязняющих веществ в прогнозах добыче и использованию энергоресурсов является углекислый газ (Прогноз..., 2014; Прогноз..., 2013). Однако вместе с тем объекты добычи нефти, газа и других ископаемых видов энергоресурсов, также как и объекты генерации на их основе электричества и тепла являются одними из основных источников эмиссии широко спектра загрязняющих веществ, включая парниковые газы, тяжелые, редкие, редкоземельные металлы, радиоактивные химические элементы, токсичные органические соединения и другие. Выбрасываемые загрязняющие вещества влияют на качество атмосферного воздуха в окрестностях данных объектов, формируя неблагоприятную санитарно-эпидемиологическую обстановку и приводя к росту числа заболеваний ввиду повышенных концентраций вредных веществ относительно установленных гигиенических нормативов.

Структура заболеваемости населения зависит от состава промышленных выбросов; выбросы объектов теплоэнергетики в большей степени влияют на возникновения заболеваний дыхательных путей; выбросы химической и нефтехимической промышленности – на аллергические заболевания (Онищенко, 2006). Проживание людей на территориях,

характеризующихся высоким уровнем комплексного загрязнения, способствует снижению неспецифической сопротивляемости организма (Онищенко, 2006). Данные факты обуславливают важность исследования состояния компонентов окружающей среды, испытывающих негативное воздействие со стороны объектов теплоэнергетической отрасли.

На территории Томской области производственную деятельность осуществляют различные объекты энергетической отрасли. На севере области функционируют нефтедобывающие (Александровский район), нефтегазодобывающие и газодобывающие (Каргасокский и Парабельский районы) промыслы; через территории области с севера на юг проходят магистральные нефте- и газопроводы с системами нефтеперекачивающих и компрессорных станций. Наименее индустриализированной частью Томской области являются восточные районы (Верхнекетский район), где загрязнение атмосферного воздуха связано с заготовкой древесины и ее сжиганием в качестве основного энергоресурса. На территории юго-западных районов области, являющимися преимущественно сельскохозяйственными (Кожевниковский, Шегарский, Кривошеинский районы) и юго-восточных (Тегульдетский и Зырянский районы) наряду со сжиганием биомассы при печном отоплении, большинство объектов социальной инфраструктуры обеспечиваются теплоэнергией от угольных котельных. На территории Томского района области сконцентрированы основные промышленные мощности региона, включающие объекты ядерно-топливного цикла Сибирского химического комбината, нефтехимической промышленности, заводы строительной, металлообрабатывающей, машиностроительной, пищевой и других отраслей, а также предприятия топливно-энергетического комплекса, представленные газовыми и газо-угольными теплоэлектростанциями.

Наличие на территории Томской области значительного количества объектов теплоэнергетической отрасли делает выбранный регион удобным объектом для оценки воздействия данных объектов на качество атмосферного воздуха, посредством использования в качестве индикатора нерастворимую и растворимую фазы снега.

Анализ ранее проведённых атмогеохимических исследований на территории отдельных районов Томской области и г. Томска показывает, что в основном интерес исследований был обращен на изучение уровней накопления макроэлементов, тяжелых металлов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов в *нерастворимой фазе* снежного покрова (Аэрозоли..., 1993; Летувнинкас, 1999; Ильченко, 2000; Летувнинкас, 2002; Иванов, 2007; Язиков, 2006; Таловская, 2008). Имеется ряд работ по изучению содержания химических элементов совместно с рассмотрением минеральной составляющей техногенных образований в пылевых выпадениях на территории г. Томска и в сельских населенных пунктах Томского района, а также сопредельных регионов России (Экология..., 1994; Язиков, Рихванов, 1996;

Шатилов, 2001; Язиков, 2006, Таловская, 2008). Современные атмогеохимические исследования, опирающиеся на значительный объем актуального фактического материала, полученного с помощью современных методов анализа, позволяют существенно дополнить исследования снежного покрова, проводившиеся в середине-конце 90-х годов прошлого века на территории районов Томской области (Экология..., 1994; Шатилов, 2001) и на территории Томского района в середине 2000-х годов (Таловская, 2008), получив временную динамику загрязнения снежного покрова в срезе нескольких десятилетий. По результатам исследований пылевого загрязнения территории г. Томска (Таловская, 2008 г.) были выявлены техногенные геохимические аномалии, и даны рекомендации по мониторингу данных территорий; поставленные задачи решаются в рамках данной диссертационной работы.

Объектом исследований являются территории в окрестностях теплоэнергетических объектов Томской области, предметом исследований – нерастворимая (твердый осадок снега) и растворимая (снеготалая вода) фазы снега.

Цель исследования состоит в установлении эколого-геохимической обстановки в районах размещения объектов теплоэнергетической отрасли Томской области на основе изучения минерально-вещественного и микроэлементного состава нерастворимой и растворимой фаз снега.

Задачи исследований:

1. Определить величину пылевой нагрузки на снежный покров населенных пунктов Томской области и основные факторы ее формирования.
2. Выявить особенности микроэлементного состава нерастворимой фазы снега в окрестностях локальных теплоэнергетических объектов Томской области, использующих различные виды топлива.
3. Определить величину и параметры ртутной нагрузки на снежный покров на территории населенных пунктов Томской области.
4. Выявить многолетний тренд изменения пылевой нагрузки на снежный покров и особенности микроэлементного состава нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2.
5. Установить характеристики ионного состава снеготалой воды в окрестностях Томской ГРЭС-2 и параметры их изменения.
6. Определить уровень подвижности химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2 и их индикаторную роль.
7. Определить минерально-вещественный состав кристаллической и аморфной составляющих нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2.

8. Установить формы нахождения металлов и металлоидов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2.

9. Изучить особенности элементного состава и морфологии сферических техногенных образований в составе нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2.

Фактический материал и методы исследования. Основу диссертационной работы составляют результаты исследований, проводившихся лично автором и совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета с 2009 по 2014 год.

Работы выполнялись при финансовой поддержке Гранта Президента для поддержки молодых российских ученых (МК 951.20013.5, руководитель к.г.-м.н., доцент А.В. Таловская) (2013-2014 гг.), Грантов компании BP Exploration Operating Company Limited (2013, 2014, 2015 гг.) при сотрудничестве с учеными из Института мониторинга экологических и климатических систем (ИМЭКС СО РАН, г. Томск), а также из Института оптики атмосферы (ИОА СО РАН, г. Томск) и Института вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ СО РАН, г. Новосибирск).

Пробы снега (общее количество проб – 754) были отобраны в 102 населенных пунктах 16 административных районов Томской области; в окрестностях технологических объектов нефтяного месторождения (Александровский район) и в окрестностях промышленных предприятий г. Томска (газо-угольной теплоэлектростанции – Томская ГРЭС-2, нефтехимического завода – Томскнефтехим и кирпичных заводов).

Пробы нерастворимой фазы снега были проанализированы на содержание в них 28 химических элементов инструментальным нейтронно-активационным анализом (*754 пробы*) в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии, функционирующей на базе учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор», входящего в структуру Физико-технического института Томского политехнического университета (аналитики А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Кроме этого для изучения нерастворимой фазы снега использовались такие методы анализа, как масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) – определение 64 химических элементов в составе *78 проб* нерастворимой фазы снега в химико-аналитическом центре «Плазма» (Россия, г. Томск); атомно-абсорбционная спектрометрия (определение содержания ртути в *468 пробах* нерастворимой фазы снега, прибор РА-915⁺ с приставкой ПИРО-915), растровая электронная микроскопия (сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N) с энергодисперсионным микроанализом Bruker XFlash 4010 (*232 частицы*) и порошковая рентгеновская дифрактометрия (*4 пробы* нерастворимой фазы снега,

прибор Bruker D2 PHASER) на базе МИНОЦ «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов ТПУ.

Пробы растворимой фазы снега (снеготалой воды) были проанализированы комплексом методов: масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) – определение 69 химических элементов в 78 пробах (ХАЦ «Плазма», г. Томск); атомно-абсорбционная спектрометрия «холодного пара» – определение концентраций ртути в 75 пробах на приборе РА-915⁺ с приставкой РП-91 (МИНОЦ «Урановая геология», кафедра геоэкологии и геохимии, Институт природных ресурсов ТПУ); ионная хроматография, потенциометрия, титриметрия, кондуктометрия и фотоколориметрия 107 проб (НПЦ «Вода», кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии, Институт природных ресурсов ТПУ).

Все анализы проб нерастворимой и растворимой фаз снега были выполнены по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения в аккредитованных лабораториях, а также проведены процедуры внутреннего и внешнего аналитического контроля.

Научная новизна работы:

1. Впервые установлена величина пылевой нагрузки на снежный покров населенных пунктов Томской области и выявлены особенности микроэлементного состава нерастворимой фазы снега в окрестностях локальных теплоэнергетических объектов, использующих различные виды топлива.
2. Впервые определена величина и параметры ртутной нагрузки на снежный покров населенных пунктов Томской области.
3. Впервые установлены индикаторные особенности микроэлементного состава нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 по данным 6-ти летнего мониторинга.
4. Впервые проведено ранжирование химических элементов по степени их подвижности в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» и определен ионный состав растворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2
5. В составе нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 впервые установлены самородные и интерметаллические формы нахождения химических элементов, а также описаны особенности элементного состава и морфологии сферических техногенных образований.

Защищаемые положения:

ПОЛОЖЕНИЕ 1. Пылевая нагрузка на территорию населённых пунктов Томской области изменяется от 1,8 мг/м²·сут до 130,7 мг/м²·сут при среднем значении – 11 мг/м²·сут. Основная доля пылеаэрозольных выпадений приходится на районы размещения объектов

угольной теплоэнергетики. Геохимическая специфика нерастворимой фазы снега в районах расположения объектов теплоэнергетики определяется интенсивностью пылевой нагрузки и составом используемого топлива. Неоднородность плотности выпадения пылеаэрозолей обуславливает особенности пространственной структуры геохимической нагрузки на территорию, например ртути, которая изменяется от $0,26 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$ до $17,61 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$ при среднем значении – $1,54 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Специфика воздействия Томской ГРЭС-2 проявляется в повышенных концентрациях в нерастворимой фазе снежного покрова в ее окрестностях Ca, Sc, Fe, Co, As, Sr, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U относительно средних значений для г. Томска и уменьшении свойств подвижности элементов-индикаторов ее воздействия (Fe, Pb, W, Ti, Ga, Sr, Yb, Er, Hf, Al, Zr, Gd, Cd, Ba, Zn, As) в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в зоне воздействия по сравнению с фоном. Величина пылевой нагрузки в районе размещения Томской ГРЭС-2 по данным шестилетнего мониторинга имеет устойчивый тренд снижения.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Нерастворимая фаза снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 неоднородна как по морфологии (сферулы и другие образования), так и по минеральному составу, особенно микрофаз, среди которых присутствуют самородные (Ti, Fe, Cu, Ag, Pb), интерметаллические (W-Ti-Fe), оксидные (Fe, Fe-Ti, Sb) и серосодержащие (Fe, Zn, Cu, Sb, Pb) фазы.

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб, проанализированных современными высокочувствительными аттестованными аналитическими методами в аккредитованных лабораториях, а также глубиной проработки фактического материала.

Практическая значимость работы. Установленные особенности микроэлементного и минерально-вещественного состава нерастворимой, а также микроэлементного и ионного состава растворимой фазы снега могут быть использованы при разработке необходимого объема мероприятий природоохранной направленности для улучшения эколого-геохимической обстановки в окрестностях объектов теплоэнергетической отрасли Томской области для возможной корректировки топливных балансов теплоэнергетических объектов, а также для оценки рисков здоровью населения, проживающего в окрестностях данных объектов.

Результаты диссертационной работы внедрены в процедуру экологического контроля за качеством атмосферного воздуха в окрестностях Томской ГРЭС-2, проводимого ОГБУ «Облкомприрода».

Материалы диссертационной работы использованы при проведении лабораторных и практических занятий по курсам «Геоэкологический мониторинг», «Минералогия техногенных образований», «Методы исследования вещественного состава природных сред» для бакалавров

и магистров, обучающихся по направлениям 022000 «Экология и природопользование», 020700 «Геология» кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Томского политехнического университета.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены на 27-ми Международных, 10-и Всероссийских и 4-х Региональных научных симпозиумах, форумах, конференциях, совещаниях: Международных научных симпозиумах студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015 гг.), Международной экологической студенческой конференции (г. Новосибирск, 2009, 2010, 2011 и 2012 г.), Международной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2010 и 2011 г.); Международном научном форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва, 2011, 2012), Международной конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование» (г. Санкт-Петербург, 2012); Международной конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде» (Республика Казахстан, г. Семипалатинск, 2012); Международной конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли» (г. Санкт-Петербург, 2012); Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (г. Томск, 2013); Первом Симпозиуме по радиоэкологии России и Северных стран «RNSR-2013» (г. Москва, 2013); Международной молодежной конференции «Современное естествознание и охрана окружающей среды» (г. Курган, 2013 г.), Международной конференции «Аэрозоль и оптика атмосферы» (г. Москва, 2014); V Международной научно-практической конференции «Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона» (Омск, 2014); Международной научно-практической конференции молодых ученых «Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике» (г. Белгород, 2009, 2013 гг.), Международном симпозиуме «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (г. Барнаул, 2013, г. г. Новосибирск, 2014 г.), Международной Школе-семинаре для молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах» (г. Тюмень, 2014 г.); Рабочей группе «Аэрозоли Сибири» (г. Томск, 2009, 2011, 2012, 2013 и 2014 гг.); Всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (г. Иркутск, 2013 г.), VIII Всероссийском симпозиуме «Контроль окружающей среды и климата: КОСК-2012» (г. Томск, 2012 г.); Годичной сессии Научного совета РАН «Устойчивое развитие: задачи геоэкологии» (г. Москва, 2013 г.); II Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции «Науки о Земле. Современное состояние» (п. Шира, 2014 г.); Всероссийской конференции с международным участием «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и

геоэкологии урбанизированных территорий» (г. Томск, 2015 г.); Региональном семинаре «Минералогия техногенеза–2011» (г. Миасс, 2011 г.); VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2014); VI открытой региональной молодёжной конференции ОАО «ТомскНИПИнефть» «Проблемы разведки, разработки и обустройства месторождений нефти и газа» (г. Томск, 2013 г.), Десятом Сибирском совещании по климато-экологическому мониторингу (г. Томск, 2013 г.).

Основное содержание и научные результаты диссертационной работы опубликованы в 73 тезисах докладов и статьях, в том числе в 8 статьях в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК, и 4 статьях в зарубежных научных журналах и изданиях, включенных в библиографические базы Web of Science и Scopus. Получен в соавторстве 1 патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Объем работы составляет 152 страницы, включая 29 таблиц и 52 рисунка. Список литературы состоит из 226 наименований, 88 из которых зарубежные.

В **главе 1** описаны современные научные исследования в области изучения растворимой и нерастворимой фаз снежного покрова как индикатора загрязнения атмосферного воздуха.

Глава 2 посвящена природно-климатической характеристике территории и геоэкологической ситуации в Томской области.

В **главе 3** описана методика исследований, способы отбора и обработки проб снега, методы анализа нерастворимой и растворимой фаз снега, приемы математической и эколого-геохимической обработки эмпирических данных.

В **главе 4** описаны индикаторные особенности элементного состава нерастворимой фазы снега в окрестностях объектов теплоэнергетической отрасли, использующих различные виды топлив. Охарактеризованы уровни пылевой и ртутной нагрузок на территорию Томской области.

В **главе 5** охарактеризована геохимическая специализация нерастворимой фазы снега, особенности ионного состава растворимой фазы снега и характер поведения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2 в сравнении с территориями в окрестностях других промышленных предприятий г. Томска – кирпичных заводов и нефтехимического завода.

Глава 6 посвящена описанию минеральных природных и техногенных частиц, при этом особое внимание уделено сферическим техногенным образованиям, формам нахождения металлов и металлоидов в нерастворимой фазе снега.

В заключении приведены основные выводы.

Личный вклад автора в получение результатов, изложенных в диссертационной работе заключается в участии совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ в отборе и подготовке проб снега, в проведении части лабораторных исследований проб нерастворимой и растворимой фаз снега в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» (Россия, г. Томск), камеральной обработке результатов, анализе полученных данных, включая статистическую и эколого-геохимическую обработку, построение карт-схем и графиков. Формулировка основных положений и написание текста диссертации выполнены автором по плану, согласованному с научным руководителем. Доля участия автора в совместных публикациях пропорциональна долям остальных авторов.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю профессору, д.г.-м.н. Языкову Е.Г. за ценные советы, всестороннюю помощь при проведении исследований и написании диссертационной работы. Огромную признательность автор выражает доценту, к.г.-м.н. Таловской А.В. за организацию исследовательской работы, за наставничество, многолетнее сотрудничество при выполнении исследований, советы и внимание к работе. Искреннюю благодарность автор выражает профессору, д.г.-м.н. Рихванову Л.П., доценту, к.х.н. Осиповой Н.А. профессору, д.г.-м.н. Арбузову С.И., доценту, к.г.-м.н. Соболеву И.С. за внимание и ценные советы при выполнении работы. За помощь в проведении электронно-микроскопических исследований и консультации при обработке результатов автор выражает глубокое признание ассистенту кафедры геоэкологии и геохимии Ильенку С.С. Отдельную признательность за плодотворное сотрудничество автор выражает д.ф.-м.н., ведущему научному сотруднику лаборатории математического моделирования процессов в атмосфере и гидросфере Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН Рапуге В.Ф., научному сотруднику лаборатории климатологии атмосферного состава Института оптики атмосферы СО РАН Симоненкову Д.В., к.г.-м.н., ассистенту кафедры геоэкологии и геохимии и младшему научному сотруднику лаборатории физики климатических систем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН Ляпиной Е.Е., и.о. начальника Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области Трапезникову С.Я. Автор благодарен коллегам по кафедре геоэкологии и геохимии профессору, д.б.н. Барановской Н.В., к.г.-м.н., доценту Жорняк Л.В., ассистентам Соктоеву Б.Р., Ялалтдиновой А.Р., Черневу Е.М., Иванову А.Ю. Автор благодарен руководителям лабораторий и исполнителям аналитических исследований: Судыко А.Ф., Богутской Л.В., к.г.-м.н., с.н.с. Копыловой Ю.Г., Шушариной В.А., Шердаковой Н.И., Камбалиной М.Г., Федюниной Н.В. За обработку результатов рентгеноструктурного анализа проб автор выражает глубокую признательность ведущему специалисту по дифрактометрии фирмы «Bruker AXS GmbH», к.х.н. Путилину С.Н. За помощь в организации и проведении отбора проб снега на

территории Александровского района Томской области автор выражает благодарность к.г.-м.н., ст. преподавателю кафедры геоэкологии и геохимии Фоминых Д.Е. и коллективу отдела экологического мониторинга департамента экологии ОАО «ТомскНИПИнефть» в лице Искрижицкого А.А. Автор выражает признательность Таловскому В.С., Таловской Н.М., а также студентам кафедры геоэкологии и геохимии Самохиной Н.П., Поликановой С.А., Чумак Ю.В., Терской Д.А., Мельчуковой Н.О., Гавриловой М.Ю. за помощь в отборе снега и подготовке проб к лабораторным исследованиям. Отдельную благодарность автор выражает родным и близким за терпение и поддержку во время проведения исследований.

1 НЕРАСТВОРИМАЯ И РАСТВОРИМАЯ ФАЗЫ СНЕГА КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Среди всего комплекса факторов воздействия на окружающую среду особое место занимает загрязнение атмосферного воздуха. Это определяется тем, что атмосферный воздух является средой-приемником всех выбросов загрязняющих веществ, средой-транспортёром этих потоков загрязнителей в виду своей динамичности; а также оказывает прямое (не опосредованное или косвенное) воздействие на здоровье людей, а также на другие – смежные, компоненты природной среды.

Концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе зависят от расстояния от источника выброса, многих характеристик самих источников выбросов – его высоты и тепловых характеристик; метеорологических параметров, обуславливающих условия рассеяния выбрасываемых веществ, – турбулентности воздушных течений, температурной стратификации атмосферы, влажности воздуха, скорости и направления ветра, а также от рельефа местности (Василенко, 1985; Израэль 1979; Raputa et al., 1997; Рапута и др., 2003, 2007). По этим причинам концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе урбанизированных территорий характеризуются высокой динамичностью и вариабельностью (Геохимия..., 1990). Это обуславливает техническую и методологическую сложность получения представительной и достоверной оценки содержания загрязняющих веществ в воздухе. Проведение таких оценок возможно лишь при осуществлении большого количества натуральных измерений, что в свою очередь требует серьезных финансовых затрат и в целом возможно лишь в условиях стационарной сети наблюдений, которая не всегда способна реагировать на изменения структуры загрязнения атмосферного воздуха (расположение источников загрязнения, их мощность, периодичность действия и т.д.). Поэтому для целей картирования пространственной структуры загрязнения окружающей среды с множеством источников оптимально использовать геохимический анализ структуры выпадений загрязняющих веществ из техногенных потоков на депонирующие среды (Геохимия..., 1990). При этом механизмы выведения загрязняющих веществ из транспортирующих потоков в депонирующие природные среды хорошо понятны в общем виде, но фактически недостаточно описаны (Davidson et al., 1982; Геохимия..., 1990).

Снежный покров имеет огромное значение для многих природных процессов. Химический состав снега определяет направленность процессов почвообразования и удобрение почв питательными веществами (Бобрицкая, 1962), влияет на химический состав природных вод (Алекин, 1970); снежный покров предотвращает глубокого промерзания почв и грунтов, влияет на протекание болотообразовательных и карстовых процессов. Также снег оказывает влияние на различные стороны хозяйственной деятельности человека, например, на состояние различных коммуникаций и сооружений (Котляков, 1994). Особенно важным является то, что

снежный покров представляет собой депонирующую среду для атмосферных поллютанов и обладает рядом свойств, которые позволяют его использовать как удобный индикатор загрязнения атмосферного воздуха. Кроме этого результаты исследования состава растворимой и нерастворимой фаз снега могут быть использованы для получения информации об основных тенденциях распределения загрязняющих веществ в атмосфере. Снег может выносить из атмосферы самые разнообразные вещества (аэрозоли, ионы, газы, радиоактивные изотопы). Поскольку снежинки и снежные хлопья оседают на поверхность земли достаточно медленно и по сравнению с дождевыми осадками покрывают большую площадь земной поверхности, они дольше находятся под влиянием загрязнённого атмосферного воздуха, следовательно, являются наилучшими индикаторами этого загрязнения (Снег..., 1986). Именно поэтому в снежном покрове фиксируются загрязняющие вещества, которые не улавливаются прямыми инструментальными методами анализа, и вещества, содержания которых невозможно установить с помощью расчетных методик или модельных подходов. Дополнительным преимуществом снежного покрова как депонирующей среды является то, что техногенные аномалии проявлены в нем более контрастно и четче характеризуют пространственное распределение техногенного воздействия от различных источников загрязнения, чем аномалии в других природных средах-планшетах (Воробьева и др., 2009).

Накопление загрязняющих веществ в снежном покрове происходит следующими путями (Прокачева , 1989):

- Ветровой перенос и осаждение из воздуха твердых пылевых частиц;
- Вымывание осадками и осаждение из атмосферы аэрозольных загрязняющих веществ; при этом эффективность вымывания загрязняющих примесей из атмосферного воздуха снежинками зависит от их формы и увеличивается с уменьшением их диаметра (Sood et al., 1970);
- Растворение осадками находящихся в атмосфере газообразных загрязняющих веществ и осаждение их на снежный покров;
- Газовый обмен между снежным покровом и воздухом в приземном слое атмосферы.

Взаимоотношение между количеством загрязняющих веществ в снежном покрове, аккумулированных различными путями, зависит от ряда факторов, главные из которых – продолжительность холодного сезона, в течение которого сохраняется устойчивый снежный покров, периодичность и интенсивность снегопадов, физико-химические свойства загрязняющих веществ и размер аэрозолей.

Загрязняющие вещества в снежном покрове находятся в трех формах: газообразной, химически растворенных веществ и твердых нерастворимых частиц (Прокачева , 1989).

Концентрации загрязняющих веществ, накопленных в снеге, как правило, на несколько порядков выше аналогичных концентраций в атмосферном воздухе, что позволяет с высокой степенью надежности проводить измерения их содержания (Василенко и др., 1985; Геохимия..., 1990).

Процедура пробоотбора снега не требует сложного оборудования и является относительно простой. Всего лишь одна проба снега, отобранная на всю мощность залегания снега, дает представительные данные о величине загрязнении за временной период от формирования устойчивого снегового покрова до момента отбора снеговой пробы. Возможность использования снегового покрова как индикатор загрязнения атмосферного воздуха в урбанизированных условиях экспериментально доказана исследованиями, выполненными на территории крупного промышленного города научными коллективами ИМГРЭ и ИПГ (Методические..., 1982).

Количество работ по загрязнению снежного покрова стало особенно быстро расти с середины 70-х годов. Было показано, что снег может служить индикатором атмосферного загрязнения такими веществами как сульфаты, нитраты, аммоний, тяжелые металлы, полициклические ароматические и нефтяные углеводороды, хлорорганические пестициды и ряд других веществ, включая газообразные. Снежный покров может быть использован не только для определения уровней загрязнения, но и для определения вещественного состава и мощности выбросов предприятий, доли вещества, увлекаемого в дальний и локальный перенос (Василенко и др., 1985). Кроме этого снежный покров может служить для целей дистанционного измерения параметров загрязнения местности с помощью аэрофотосъемки, а также космосъемки (Прокачева, 1989).

Для этих целей в настоящее время широко используется метод снеговой съемки в климатических условиях, способствующих формированию устойчивого снежного покрова, где на протяжении зимнего сезона почвы покрыты снегом, водоемы, включая моря и океаны, скованы льдом, что в результате позволят оценивать именно техногенное загрязнение снежного покрова, исключая вклад от природных источников.

С разной степенью детальности проводятся работы по изучению химического и минерально-вещественного состава снежного покрова в городах Финляндии (Ettala et al. 1986; BUCKO et al., 2011), Швеции (Viskari et al. 1997; Viklander, 1999), Франции (Veysseyre et al., 2001), Литвы (Baltreinaite et al. 2014), Японии (Sakai et al., 1988; Osada et al., 2010), Чили (Cereceda-Balic et al. 2012), Турции (Elik, 2002), США (Lee et al., 2008; Alan, 2010; Reynolds et al., 2014), Канады (Drake et al., 1980), Казахстана (Панин и др., 2006), Монголии (Сорокина и др., 2013); в регионах и городах России: на Камчатке (Малик, 2010), в Благовещенске (Куимова и др., 2012; Юсупов и др., 2014), Хабаровске (Новороцкая, 2002), в Якутии (Макаров, 2014),

Республике Коми (Пристова и др., 2010), Иркутской области (Оболкин и др., 2004; Скворцов и др., 2011; Янченко и др., 2013 и другие), Ханты-Мансийском автономном округе (Московченко и др., 2012), Свердловской области (Балгаева и др., 2012), Челябинской области (Удачин, 2012), Омске (Скрипка и др., 2013) в Алтайском крае (Хвостов, 2007; Микушин и др., 2006), в Казани и Республике Татарстан (Валетдинов, 2006), Республике Удмуртии (Смелов, 2004), Новгородской области (Летенкова и др., 2014), Воронеже (Негробов, 2005), Самаре (Ардаков, 2004), Саратове (Быкова, 2012), Мурманской области (Раткин и др., 2008), в Санкт-Петербурге и Ленинградской области (Зарина, 2009; Воронцова и др., 2012), в Москве (Геохимия..., 1990; Маркова, 2003; Еремина и др., 2010; Касимов и др., 2012²; Еремина, 2013).

В Западной Сибири исследования атмосферных выпадений с использованием снеговой геохимической съемки проводятся начиная с 1974 г. Основы данных работ заложены авторским коллективом в составе Бояркиной А.П., Васильева Н.П., Львова Ю.А., Будаевой Л.И., Байковского В.В. и других ученых из Томского государственного университета, Сибирского медицинского государственного университета, НИИ онкологии Томского научного центра РАМН, Института оптики атмосферы СО РАН, (Воробьева и др., 1992; Аэрозоли..., 1993).

Изучение загрязнения снегового покрова в Томском государственном университете начато под руководством А.И. Летувнинкаса (Летувнинкас, 1999, 2002) совместно с Ильченко Н.В. (Ильченко, 2000) и продолжено Ивановым А.О. (Иванов, 2007) совместно со специалистами из Томского политехнического университета (Савичев и др., 2010).

В Томском политехническом университете изучение загрязнения окружающей среды с использованием снежного покрова активно проводится учеными с 1990-х годов. Развитием этого направления активно занимались в разные годы Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Зуев В.А., Сарнаев С.И., Поцелуев А.А., Шатилов А.Ю., Таловская А.В. (Сарнаев и др., 1995; Экология..., 1994; Шатилов, 2001; Эколого-геохимические..., 2006; Таловская, 2008; Язиков и др., 2010).

В г. Новосибирск подобные работы проводятся коллективами ученых из Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН и Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (Бортникова С.Б., Рапуга В.Ф., Артамонова С.Ю., Росляков Н.А., Ковалев В.П., Щербаков Ю.Г., Сухоруков Ф.В., Щербов Б.Л., Ковалев С.И. и другие), а также сотрудниками ГПП «Березовгеология».

Таким образом, многими исследователями снеговая съемка успешно применяется при проведении геохимических оценок состояния окружающей среды. Обзор литературных материалов показал, что по мере накопления новых научных знаний и развития инструментальных методов исследования область интересов ученых, рассматривающих снежный покров как индикатор загрязнения окружающей среды, значительно расширяется. Так, изначально в работах рассматривались в качестве основных загрязняющих веществ пыль,

угарный и углекислый газы, оксиды серы и азота, углеводороды, соединения азота, калия и фосфора, синтетические органические вещества, радиоактивные изотопы. В 1980-х резко повысился интерес к рассмотрению микроэлементов, в основном высоко токсичных тяжелых металлов – ртути, кадмия, свинца, как загрязняющих веществ (Израэль, 1979; Методические..., 1982; Геохимия..., 1990). Позднее сфера прикладных и фундаментальных научных интересов научного сообщества расширилась вопросами содержания в снежном покрове редких, редкоземельных химических элементов; однако в большей мере изучено содержание данных химических элементов в нерастворимой фазе снежного покрова. Стоит отметить, что исследователями, как правило, производится оценка содержания различных загрязняющих веществ (включая тяжелые металлы, редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы) либо в составе нерастворимой фазы снежного покрова, либо наоборот только в составе снеготалой воды. Это обуславливает недостаток комплексных знаний о содержаниях химических элементов в снежном покрове, как урбанизированных, так и фоновых территорий. При этом опубликованные еще в 1990-х гг. данные об уменьшении свойств подвижности отдельных химических элементов (цинк, медь, свинец) в системе «снеготалая вода – нерастворимый осадок снега» в условиях повышенной техногенной нагрузки по сравнению с фоновыми участками (Геохимия..., 1990), несомненно, нуждаются в развитии и дальнейшем детальном изучении. В последние годы многими учеными особое внимание при проведении снегеохимических исследований уделяется изучению форм нахождения химических элементов в снежном покрове, так как именно формы в значительной мере обуславливают геохимическую подвижность элементов, степень опасности для компонентов природной среды и токсичности для живых организмов (Голохваст и др., 2013). Особенно актуально данное направление исследований для техногенных минеральных образований в составе нерастворимой фазы снежного покрова. Результаты таких исследований позволяют с высокой степенью вероятности устанавливать источники поступления загрязняющих веществ.

Таким образом, как показал обзор литературных материалов, снежный покров – это идеальная природная депонирующая среда, широко используемая в практике эколого-геохимических исследований во многих регионах России и мира, для оценки загрязнения атмосферного воздуха.

2 КРАТКАЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Природно-климатическая характеристика Томской области и г. Томска

Томская область расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины в среднем течении реки Обь по обеим сторонам данной водной артерии. Площадь территории Томской области составляет 316,9 тыс. км², протяженность области с севера на юг – 600 км, с запада на восток – 780 км. На севере Томская область граничит с Ханты-Мансийским автономным округом Тюменской области, на западе – с Тюменской и Омской областями, на юге – с Новосибирской и Кемеровской, на востоке – с Красноярским краем. В административном отношении территории Томской области состоит из 16 районов. Шесть населенных пунктов области являются городами – Томск, Северск, Асино, Колпашево, Кедровый и Стрежевой (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Административно-территориальное устройство Томской области

Районы Томской области (1 – 16): 1 – Александровский, 2 – Асиновский, 3 – Бакчарский, 4 – Верхнекетский, 5 – Зырянский, 6 – Каргасокский, 7 – Кожевниковский, 8 – Колпашевский, 9 – Кривошеинский, 10 – Молчановский, 11 – Парабельский, 12 – Первомайский, 13 – Тегульдетский, 14 – Томский, 15 – Чаинский, 16 – Шегарский.

К районам Крайнего Севера и местностям, приравненным к ним, относится около 86% территории Томской области. На данных территориях проживает около 24% населения области (Евсеева, 2001).

Более 97% территории Томской области относится к Западно-Сибирской равнине. Река Обь делит область на относительно возвышенную правобережную часть и пониженную

левобережную. Наиболее возвышенным является Томь-Яйское междуречье, куда заходят отроги Кузнецкого Алатау. Разброс высот над уровнем моря на территории Томской области составляет от 30 до 264 м (Евсеева, 2001).

Рельеф Томской области плоский, сильно заболоченный. Средняя заболоченность территории области – 39,5 – 50% (Дюкарев, 1991). При этом современный рельеф Томской области изменяется под воздействием экзогенных (эрозионная и аккумулятивная деятельность рек, овражная эрозия, процессы болотообразования и торфонакопления, оползни и другие процессы), эндогенных (современные тектонические движения) факторов, а также хозяйственной деятельности человека. В отношении геологического строения территория Томской области расположена на юго-востоке Западносибирской эпигерцинской плиты, в строении которой выделяется три структурных этапа: геосинклинальный, промежуточный и платформенный (Евсеева, 2001).

Географическое положение Томской области в умеренных широтах во многом определяет климат территории, являющийся переходным от умеренно-континентального Русской равнины к резко-континентальному Восточной Сибири. Климат региона характеризуется существенной сезонной изменчивостью притока солнечной радиации, проникновением воздушных масс из Арктики, Атлантики и Средней Азии, с частой сменой циклонов и антициклонов и преобладанием юго-западных и южных ветров. Средние годовые скорости ветра по области – 3 – 4 м/с. Наиболее суровые зимние условия формируются в долинах рр. Обь и Томь, где повторяемость скоростей ветра 4 – 7 м/с достигает 28%. Наибольшие скорости ветра в г. Томске наблюдаются в течении зимних месяцев (с декабря по март), тогда как наименьшие – в летние месяцы (июль, август), при этом средняя годовая скорость ветра составляет 3,1 м/с. Количество дней с ветром скоростью более 15 м/с составляет в среднем 20, причем наибольшее число таких дней наблюдается преимущественно в зимние месяцы. Основным направлением ветров в г. Томске являются южные и юго-западные, повторяемость северных ветров увеличивается в летние месяцы (Евсеева, 2001).

На территории г. Томска повторяемость юго-западных ветров в зимние периоды (с первой-второй декады ноября по вторую-третью декаду марта) с 2008/09 по 2011/12 гг. составляла 35 – 45%, при резком уменьшении данного направления ветров в зимние сезоны 2012/13 и 2013/14 гг. до 17 и 9% соответственно при существенном возрастании повторяемости южных ветров с 8 – 12% до 27 и 51% в указанные зимние сезоны соответственно (рисунок 2.2).

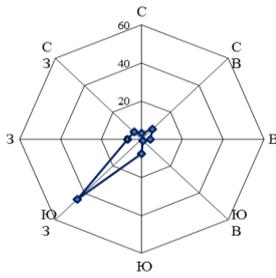
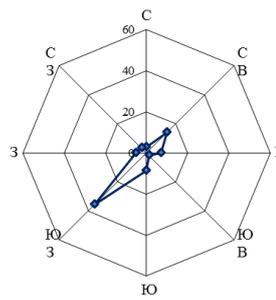
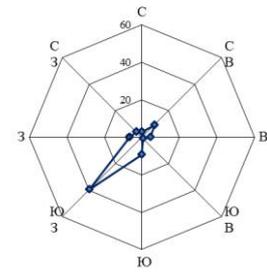
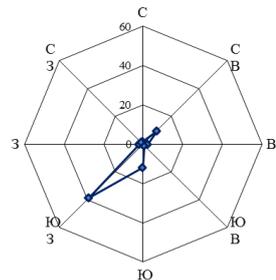
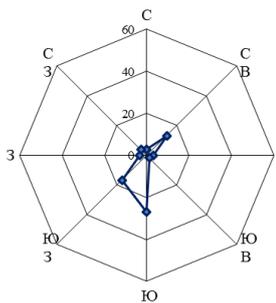
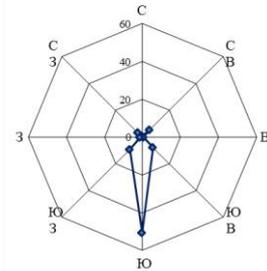
Зимний сезон
2008 – 2009 гг.Зимний сезон
2009 – 2010 гг.Зимний сезон
2010 – 2011 гг.Зимний сезон
2011 – 2012 гг.Зимний сезон
2012 – 2013 гг.Зимний сезон
2013 – 2014 гг.

Рисунок 2.2 – «Розы ветров» в зимние сезоны с 2008 – 2009 по 2013 – 2014 гг. в г. Томске
(построены автором по данным метеостанции г. Томска)

Средняя годовая температура воздуха на территории Томской области отрицательная и изменяется от минус $0,6^{\circ}\text{C}$ на юге области до минус $3,5^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке области. Все четыре сезона года (зима, весна, лето, осень) имеют хорошую проявленность в климате Томской области. Минимальные температуры воздуха приходятся на январь, максимальные – на июль. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 0°C в Томской области составляет 165 – 185 дней (Трифенова, 1988).

Годовое количество осадков по территории Томской области изменяется в среднем от 400 до 570 мм, при этом осадки в зимнее время, выпадающие в твердом виде, составляют 22 – 34% от их общего количества за год. Снег удерживается в южной и центральной частях области 176 – 182 дня, на севере и северо-востоке – 190 – 197 дней. Средняя из наибольших декадных высот снежного покрова за зимние сезоны составляет 58 – 68 см, а на западе и востоке области – до 80 см. Запасы воды в снеге изменяются от 100 – 130 мм на юге до 174 – 198 мм на севере (Евсеева, 2001).

По данным наблюдений на метеостанции г. Томска за последние 6 зимних сезонов (с 2008 – 2009 по 2013 – 2014 гг.) наибольшая декадная высота снежного покрова изменялась от 49 до 98 см. Высота снежного покрова ниже средней многолетней величины (58 – 68 см) наблюдалась в зимний сезон 2011 – 2012 гг. В зимний сезон 2010 – 2011 гг. высота снежного покрова

соответствовала норме, тогда как в остальные зимние сезоны она значительно превышала средние уровни для юга Томской области (рисунок 2.3).

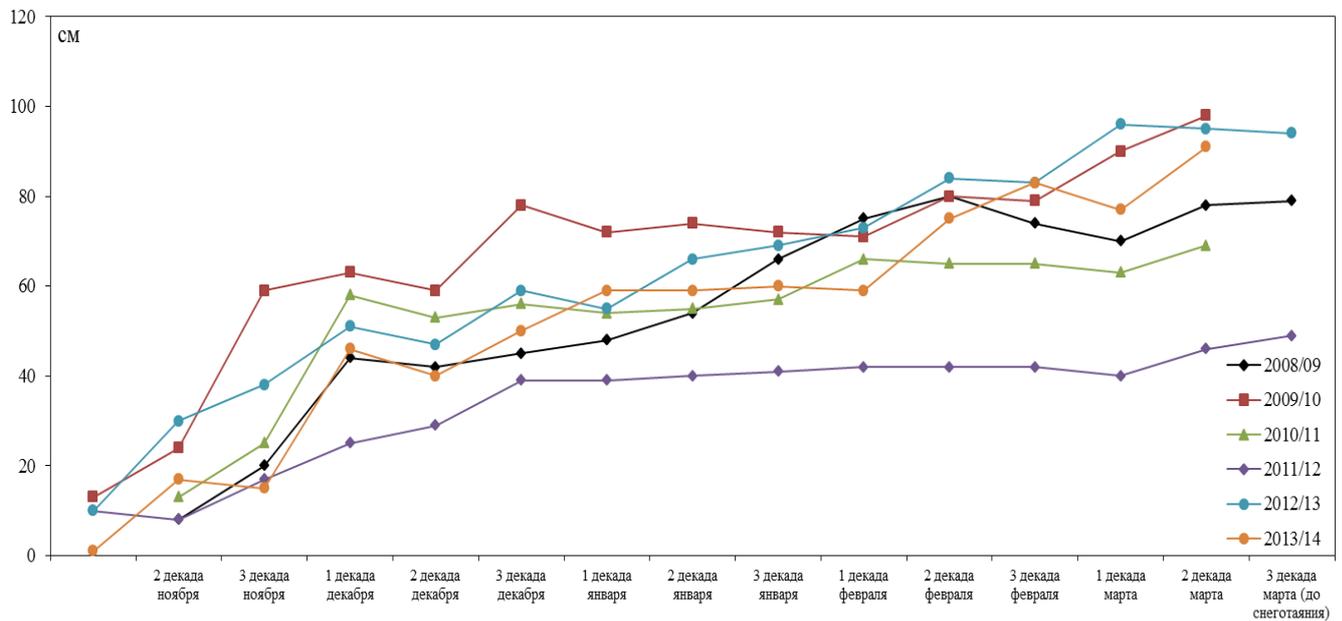


Рисунок 2.3 – Декадные величины высоты снежного покрова в зимние сезоны с 2008 – 2009 по 2013 – 2014 гг. в г. Томске (построены автором по данным метеостанции г. Томска)

Влагозапас снежного покрова в г. Томске зимние сезон с 2009 – 2010 по 2013 – 2014 гг. изменялся в диапазоне от 129 до 231 мм (рисунок 2.4), что также выше средней многолетней величины для юга Томской области (100 – 130 мм).

На территории Томской области развита густая речная сеть, основными водными артериями области являются рр. Обь, Томь, Чулым, Кеть, Тым, Васюган, Парабель, Чая, причем густота речной сети в бассейне р. Чулыма достигает $0,45 \text{ км/км}^2$. На территории области насчитывается 112,9 тыс. озер с суммарной площадью зеркала 4451 км^2 , а общая площадь открытых водоемов области составляет 7803 км^2 , т.е. 2,5% от всей территории (Евсеева, 2001).

Томская область расположена в основном в юго-восточной и частично в центральной части крупнейшего в мире Западно-Сибирского артезианского бассейна, воды которого до глубины 500 м являются гидрокарбонатно-кальциевыми, а глубже – гидрокарбонатно-натриевыми (Шварцев, 1998).

На территории Томской области распространены почвы восьми основных типов: подзолистые, подзолисто-болотные, серые лесные, серые лесные глеевые, черноземы, черноземно-луговые, болотные и пойменные (Евсеева, 2001).

Разнообразные физико-географические условия Томской области обуславливают довольно сложную картину ее растительности. Вся растительность Томской области

подразделяется на лесную, болотную, луговую и водную. Положение Томской области на стыке лесостепи и тайги Западно-Сибирской равнины с горно-таежными лесами Кузнецкого Алатау определяет богатство и разнообразие животного мира. На территории области зарегистрировано 1420 видов насекомых, 89 видов паукообразных, 32 вида рыб, 391 вид наземных позвоночных. Жизнедеятельность различных видов животных связана с различными местами обитания - лесами, лугами, болотами, водоемами, полями. Большая часть животных - представители тайги.

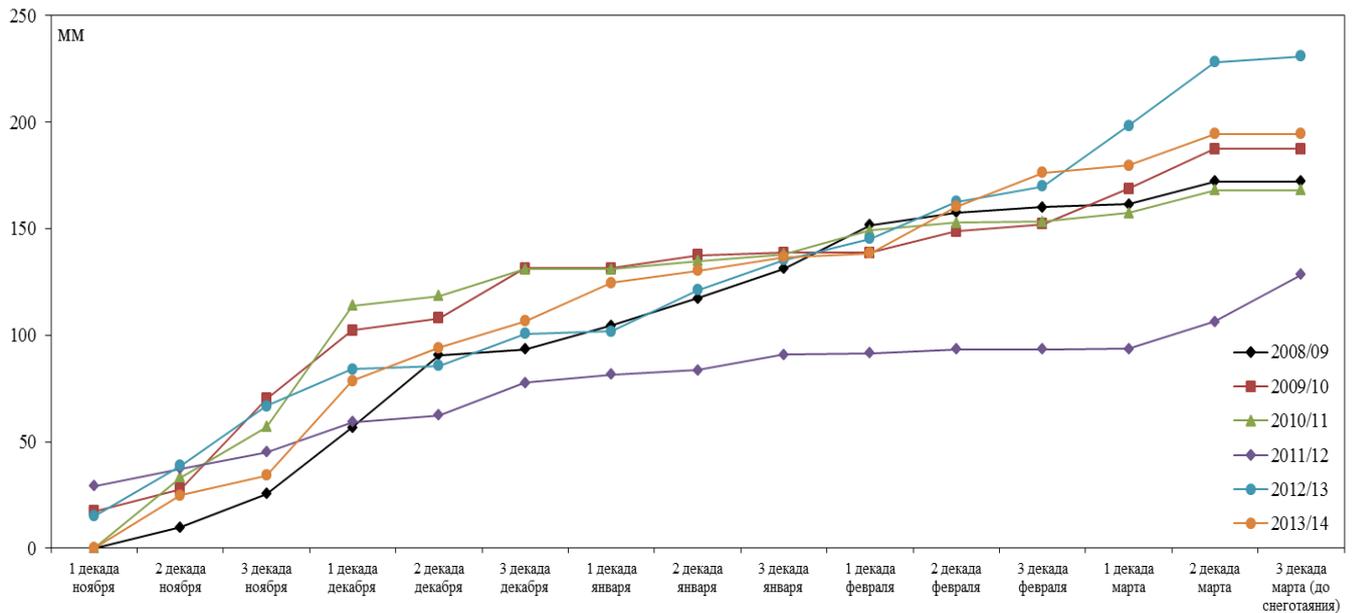


Рисунок 2.4– Декадные величины влагозапаса снежного покрова в зимние сезоны с 2008 – 2009 по 2013 – 2014 гг. в г. Томске (построены автором по данным метеостанции г. Томска)

Территория Томской области богата разнообразными полезными ископаемыми – нефть, газ, газоконденсат, титано-циркониевых россыпи, торф, тугоплавкие глины, песчано-гравийные смеси, пески, известняки, строительные камни, кирпичные глины, керамзитовое сырье, железная руда, бокситы, сурьма, цинк, рудное и россыпное золото (Евсеева, 2001; Боярко Г.Ю. и др., 2005).

2.2 Геоэкологическая характеристика Томской области и г. Томска

Физико-географические условия расположения Томской области и деятельность промышленных объектов региона определяют параметры экологической обстановки территории области. Основными отраслями народного хозяйства региона являются нефтегазодобывающая, нефтегазотранспортная, топливно-энергетическая, нефтехимическая, химическая, лесная, машино- и приборостроительная промышленности, сельское хозяйство, а

также предприятия, относящиеся к ядерно-топливному циклу. Эти отрасли, а также выбросы автотранспорта, формируют основное техногенное воздействие на природные комплексы и урбанизированные территории Томской области. Основные отрасли промышленности, направления развития агропромышленного комплекса на территории районов Томской области, а также полезные ископаемые, находящиеся в недрах районов, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Типы промышленности и агропромышленного комплекса в административных районах Томской области

Район	Промышленность и агропромышленный комплекс	Полезные ископаемые
<i>Александровский</i>	Нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, пищевая (переработка рыбы)	Нефть, торф, кирпично-керамзитовые глины, минеральные воды, бурый уголь
<i>Асиновский</i>	Лесная, дерево-обрабатывающая, легкая, пищевая, комбикормовая, мукомольная; животноводство	Глины кирпичные, строительные и формовочные пески, песчано-гравийная смесь, торф
<i>Бакчарский</i>	Пищевая, лесная, дерево-обрабатывающая, лесозаготовки; сельское хозяйство в т. ч. садоводство (Бакчарский опорный пункт северного садоводства)	Железистые и оолинитовых руды; железистые песчаники; суглинки, торф
<i>Верхнекетский</i>	Лесная и деревообрабатывающая; пищевая промышленность; растениеводство, животноводство	Кирпичные глины, огнеупорные материалы, торф (14 % от запасов торфа Томской области)
<i>Зырянский</i>	Растениеводство и животноводство	Бурый уголь (Яйское месторождение), глина тугоплавкая (Усманское и Арышевское месторождения), каолин, янтарь (Усманское месторождение), кирпичное сырье (Зырянское месторождение), строительные пески (месторождение «Старая нефтебаза»)

Район	Промышленность и агропромышленный комплекс	Полезные ископаемые
<i>Каргасокский</i>	Нефтегазовая, лесная, рыбоперерабатывающая	Нефть, глины кирпичные, пески строительные, бурый уголь, железная руда, торф
<i>Кожевниковский</i>	Сельское хозяйство, молочное животноводство, пищевая промышленность	Месторождения кирпичных глин (Кожевниковское, Уртамское), залежи торфа
<i>Колташевский</i>	Сельское хозяйство, лесная, деревообрабатывающая и пищевая промышленности	Железная руда, торф (более 2 млрд тонн), хлоридно-натриевые минеральные воды, строительные материалы (песок, известь), сапропелевые озера
<i>Кривошеинский</i>	Сельское хозяйство, лесная промышленность	Торф, песчано-гравийные смеси, глины, грунт строительный, пески строительные
<i>Молчановский</i>	Лесная промышленность, дикоросы, животноводство	Месторождения бурого угля, суглинков кирпичных смесей, запасы подземных вод, в т.ч. минеральных, торфяные месторождения
<i>Парабельский</i>	Нефтегазовая, лесная промышленность, добыча и переработка рыбы, заготовка пушнины	Нефть, газ, торф, кирпично-керамзитовые глины
<i>Первомайский</i>	Лесная и деревообрабатывающая промышленность, сельское хозяйство (молочное и мясное животноводство, производство зерна, растениеводство)	Мел, минеральные краски, глины кирпичные, песок строительный, песчано-гравийная смесь
<i>Тегульдетский</i>	Лесная, сельское хозяйство	Каменный уголь, железо, керамзитовое сырье, песчано-гравийная смесь

Район	Промышленность и агропромышленный комплекс	Полезные ископаемые
<i>Томский</i>	Лесозаготовительная; производство стройматериалов и керамических изделий; добыча гравийно-песчаных смесей, строительного камня, строительных песков, глин, торфа; туризм, нефтехимия, нефтепереработка, агрокомплекс, ядерно-топливный цикл и другие	Металлы (титан, цирконий, цинк, алюминий, сурьма, золото); каменные строительные материалы (облицовочный камень) и декоративно-подделочное сырье (опал, агат, яшма и т. п.); огнеупорные, тугоплавкие глины и каолин; строительные и стекольные пески; кирпично-керамзитовые суглинки; торф; уголь; сапропель, минеральные воды, 125 месторождений общераспространенных полезных ископаемых
<i>Чаинский</i>	Сельское хозяйство	Глины кирпичные, торф
<i>Шегарский</i>	Сельское хозяйство, пищевая промышленность	Железные болотные руды, песчано-гравийная смесь

Учитывая специфику диссертационной работы, наибольшее внимание в описании геоэкологических проблем региона уделяется вопросу загрязнения атмосферного воздуха.

По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области на качество атмосферного воздуха в области существенное влияние оказывают выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников предприятий. Количество последних ежегодно увеличивается на 1 – 8% с 2008 г., таким образом, по состоянию на 2013 г. их количество составило 1300 единиц (Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

На территории Томской области насчитывается более 81 тысячи организованных стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, из которых только 560, т.е. 0,7%, оснащены газоочистными установками. При этом средняя степень улавливания вредных веществ составляет 45,9%. С 2008 по 2013 гг. на долю выбрасываемых твердых загрязняющих веществ приходится от 8 до 18% от валового объема выбросов (25,216 – 69,538 тыс. тонн в год) (Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

Антропогенная нагрузка на атмосферный воздух Томской области распределена неравномерно – наибольшее загрязнение атмосферы наблюдается в местах размещения

предприятий нефтегазодобывающей отрасли (Каргасокский, Парабельский и Александровский районы) (Экологический..., 2012). Доля выбросов загрязняющих веществ от предприятий нефтегазовой отрасли Томской области в период с 2008 по 2013 гг. ежегодно снижается на 0,9-5,3% и по итогам 2013 г. составляет 70,0% от суммарного выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух региона (Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014). Несмотря на снижение доли выбросов от предприятий нефтегазовой отрасли, происходящих в первую очередь в результате реализации программ по утилизации попутного нефтяного газа нефтегазодобывающая отрасль промышленности является ключевым источником эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух Томской области. Средний процент использования попутного нефтяного газа на промыслах Томской области в 2011 г. составлял 71%, в 2012 г. – 70% в 2013 г. – 75,4% (Экологический..., 2012, 2013, 2014), однако по отдельным промыслам отмечается очень низкий процент использования попутного нефтяного газа – 19,6 – 21,2% (Экологический..., 2014).

Также к предприятиям, оказывающим существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха региона, относятся объекты производства тепла и электроэнергии. К данной группе относятся более 100 объектов, основными из которых являются Томская ГРЭС-2 и ТЭЦ-3. Их вклад в суммарный выброс загрязняющих веществ по Томской области в период с 2008 по 2013 гг. составлял от 3,9 до 16,5%.

Нефтехимическая отрасль занимает третье место по объемам выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Томской области. На промышленные предприятия этой отрасли приходится от 2,2 до 5,5% суммарного выброса загрязняющих веществ за период с 2008 по 2013 гг.

Также значительный вклад в загрязнение атмосферы вносят выбросы автотранспорта, особенно на территории областного центра – г. Томска (Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

Томский район Томской области представляет собой территорию, где сконцентрировано значительное количество промышленных объектов области, что делает его территорию основным узлом экологических проблем региона. Два города на территории района – Томск и Северск, образуют Томск-Северскую промышленную агломерацию, на территории которой проживает около 70% населения области. Наиболее обостренная экологическая ситуация отмечается на территории так называемого Северного промышленного узла (СПУ), охватывающего территории в направлении север-северо-востока и частично востока от Томск-Северской промышленной агломерации (Экология..., 1994). Основными источниками масштабного загрязнения компонентов окружающей среды являются промышленные объекты ядерно-топливного цикла – Сибирский химический комбинат (СХК), нефтехимической отрасли

ООО «Томскнефтехим», ЗАО «Метанол» и ЗАО «Сибметахим» (Томский нефтехимический комбинат (ТНХК) ранее), агропромышленные комплексы (птицефабрики «Межениновская», «Туганская», свинокомплекс «Томский»), а также полигоны промышленных и бытовых отходов, золоотвалы, карьеры, очистные сооружения г. Томска и т.д. (Экология..., 1994).

На территории г. Томска большая часть промышленных производств расположена в зонах жилой застройки. На качество атмосферного воздуха в городе оказывает воздействие деятельность более 335 промышленных предприятий (рисунок 2.5), объем валовых выбросов которых в 2013 году составили 37,099 тыс. т., т.е. 12% от суммы всех валовых выбросов в атмосферу Томской области (Экологический..., 2014).

Наибольший вклад в общий объем выбросов вредных веществ в атмосферу г. Томска вносят предприятия теплоэнергетической отрасли (Томская ГРЭС-2, ТЭЦ-3, Пиковая резервная котельная), а также нефтехимической и химической отраслей (ЗАО «Сибметахим» ОАО «Томскгазпром», ООО «Томскнефтехим», Фармстандарт-Томскхимфарм, Томский шпалопропиточный завод), строительной индустрии (ЗАО «Карьероуправление», ЗАО «Томский завод строительных материалов и изделий», ООО «Керамзит-Т»), деревообрабатывающей отрасли (Лесоперерабатывающий комбинат Партнер-Томск, Томлесдрев, Сибирская карандашная фабрика, ООО «Премьер»), предприятия пищевой отрасли (ООО «Томское пиво») и объекты жилищно-коммунального сектора (УМП Спецавтохозяйство Томска, Томская судоходная компания, Томскводоканал, Сибмост Томский филиал Мостотряд № 101). На долю данных предприятий приходится 48% всех валовых выбросов в атмосферный воздух г. Томска по состоянию на 2012 г.

Превышение санитарно-гигиенических нормативов по содержанию диоксида азота, формальдегида, золы угля и суммации всех видов пылей в атмосферном воздухе может наблюдаться на всей территории г. Томска или на большей его части. По остальным загрязняющим веществам, как правило, их концентрации в атмосферном воздухе выше ПДКс.с. лишь в непосредственной близости от промышленных предприятий (20 – 200 м от объектов) (Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

По итогам 2007 года г. Томск был включен в список городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения воздуха (рисунок 2.6) (Экологический..., 2008). В 2008 году ситуация улучшилась за счет значительного снижения среднегодовых концентраций формальдегида (Экологический..., 2009), в 2009 и 2010 гг. качество атмосферного воздуха продолжило улучшаться ввиду перевода большего количества автотранспорта на газ, а также благодаря постоянному контролю качества автомобильного топлива и соблюдению промышленными предприятиями установленных нормативов выбросов загрязняющих веществ (Экологический..., 2010, 2011). Однако в 2011 - 2012 гг. наблюдался рост показателя индекса

загрязнения атмосферы (Экологический..., 2012, 2013), который в 2013 г. чуть снизился (Экологический..., 2014).

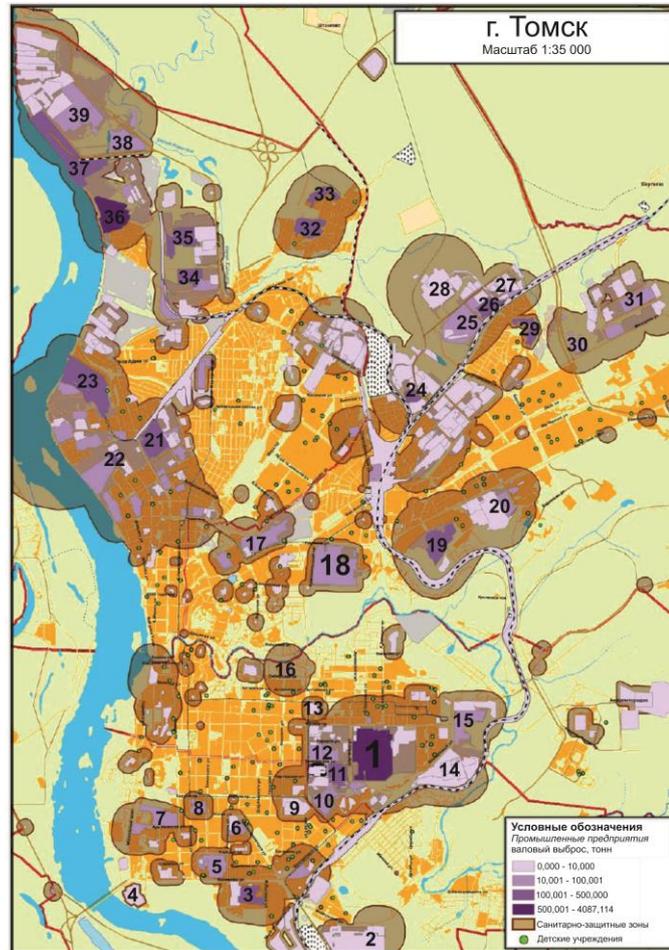


Рисунок 2.5 – Основные промышленные предприятия г. Томска (Экологический..., 2008), предприятия отмечены Таловской А.В. (Таловская, 2008) с дополнениями автора

Промышленные предприятия: 1 - Томская ГРЭС-2, 2 - ОАО «Томский радиотехнический завод», 3 - ООО «Континент», 4 - ЗАО «Томский водокнал», 5 - ОАО «Томский инструментальный завод» (перенесен с 2009 г.), 6 - ОАО «Томский электроламповый завод», 7 - ОАО «Томское пиво», 8 - ОАО «Томский электромеханический завод», 9 - НПО «Полус», 10 - ФГУП «Томский электротехнический завод», 11 - ОАО «Сибэлектромотор», 12 - ОАО «Манотомь», 13 - ОАО «Завод пищевых продуктов Томский», 14 - ООО «Завод крупнопанельного строительства ТДСК», 15 - ООО «Эмальпровод», 16 - ЗАО «Кондитерская фабрика «Красная звезда», 17 - ЗАО «Сибкабель», 18 - ЗАО «Томский подшипник», 19 - ЗАО «Карьероуправление», 20 - ЗАО «Томский завод строительных материалов и изделий», 21 - ОАО «Фармстандарт-Томскхимфарм», 22 - Томский дрожжевой завод, 23 - Томский шпалопропиточный завод, 24 - ООО «ЖБИ-2007», ЗАО «Завод дорожно-строительных материалов», 25 - ООО «ЖБК-40», 26 - ООО «Керамзит-Т», 27 - Пиковая резервная котельная, 28 - ООО «ЖБК-100», 29 - ОАО «Томская спичечная фабрика «Сибирь», 30 - НПО «Вирион», 31 - ЗАО «Томский приборный завод», 32 - Томская клиническая психиатрическая больница, 33 - Исследовательский реактор ИРТ-Т НИИ ЯФ ТПУ, 34 - ООО «СибРос», ООО «Завод строительных материалов «Промальп», 35 - ООО «Сибцем-Томск», 36 - Лесопромышленное объявление «Томлесдрев», 37 - ЗАО «ТомЗЭЛ», 38 - ЗАО «БПТОиКО», 39 - ООО «Дробильно-сортировочный завод»

Неравномерное распределение промышленных предприятий на территории г. Томска, обуславливает неоднородную техногенную нагрузку. Основная часть территории г. Томска характеризуется условиями чистой и/или умеренно загрязненной атмосферы, однако при этом контрастно выделяются два района – промузел ООО «Томскнефтехим» и центральная часть Томска, с сильно загрязненной атмосферой (Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014) (рисунок 2.7). Наиболее высокая степень геоэкологической напряженности на территории г. Томска сложилась в его западной и центральной частях (рисунок 2.8). Причина этого заключается в небольшой природной устойчивости городской системы территории и высоком антропогенном воздействии за счет сосредоточения на этой территории промышленных предприятий с большими по площади санитарно-защитными зонами, повышенного индекса загрязненности атмосферного воздуха и повышенного уровня акустического дискомфорта при незначительном озеленении вдоль дорог (Шакирова, 2007).

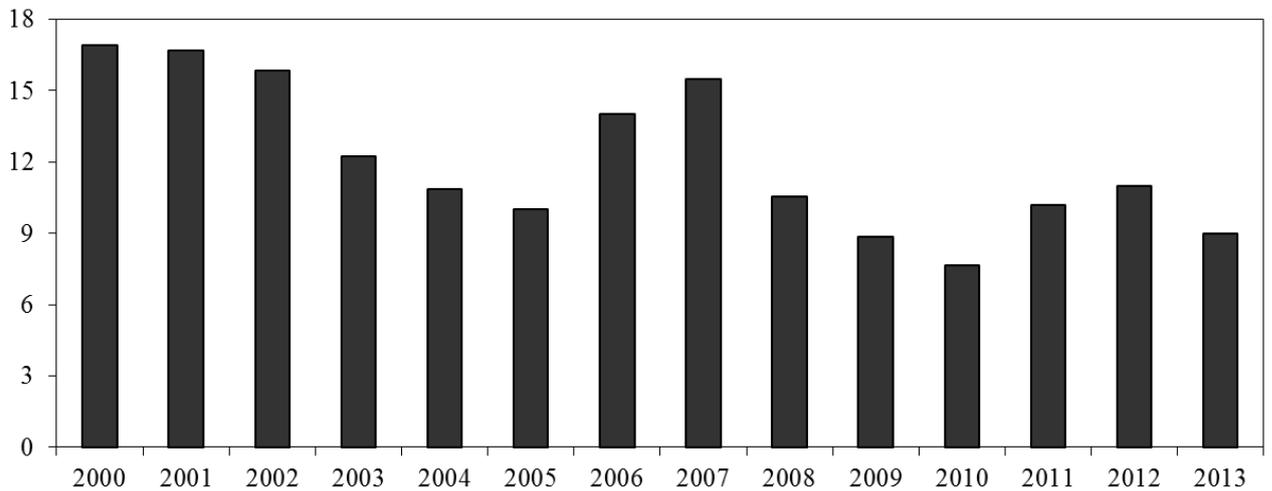


Рисунок 2.6 – Динамика индекса загрязненности атмосферного воздуха в г. Томске

(построено автором по данным ежегодных экологических обзоров Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области с 2001 по 2014 гг.)

Средняя величина притока атмосферной пыли на снежный покров г. Томска в период с 1993 по 1996 гг. составляла $190 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ и превышала фон в 26 раз, при разбросе значений пылевой нагрузки от 5 до 62 фонов (Летувнинкас, 1999; Летувнинкас, 2002). Результаты площадных атмогеохимических исследований на территории г. Томска, проведенных Таловской А.В. в 2007 г., показали кратное снижение средней величины пылевой нагрузки на территорию города, так средняя пылевая нагрузка составила $63 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ (Таловская, 2008). При этом наиболее контрастные участки среднесуточного притока пыли на снежный покров г. Томска расположены на территории Октябрьского района города, где сосредоточены промышленные предприятия строительной индустрии, и на территории Советского, где

расположена Томская ГРЭС-2. В этих аномалиях на территории Октябрьского района величина пылевой нагрузки изменяется от 10 до 46 фонов, а на территории Советского района – от 6 до 25 фонов (Таловская, 2008) (рисунок 2.9).

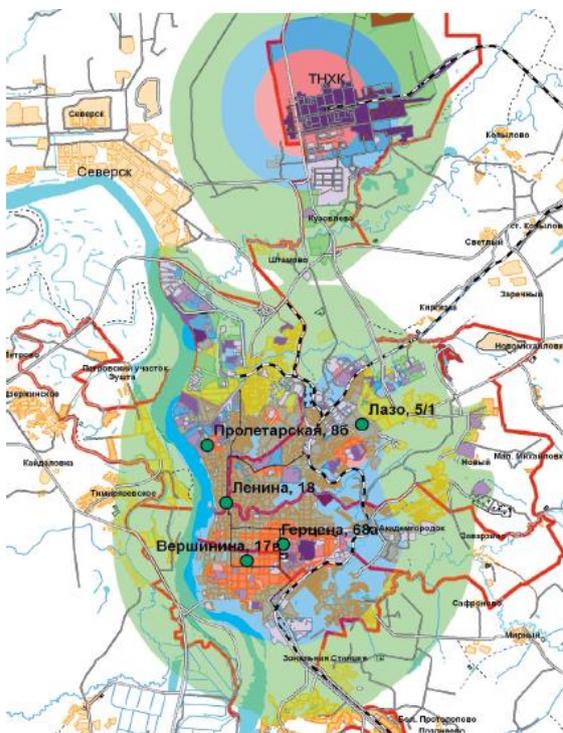


Рисунок 2.7 – Индекс загрязненности атмосферного воздуха на территории г. Томска и в его окрестностях (Экологический..., 2009)

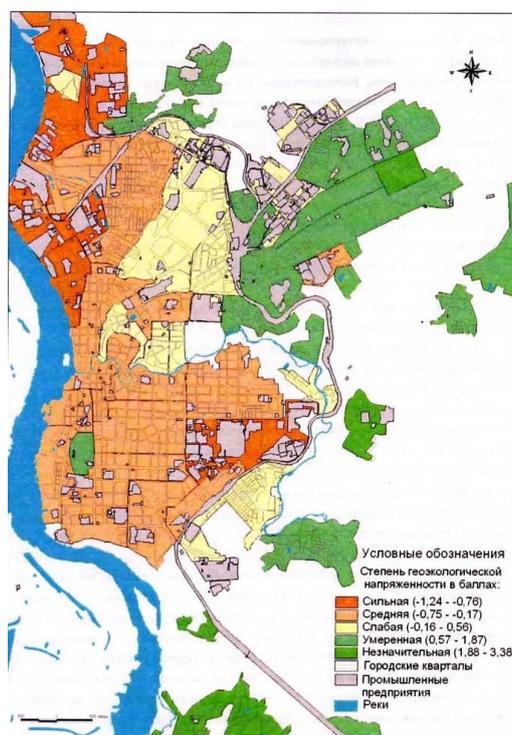


Рисунок 2.8 – Степень геоэкологической напряженности на территории г. Томска и (Шакирова, 2007)

Результаты Таловской А.В. по изучению геохимического состава твердого осадка снега на территории г. Томска показали, что геохимическая ассоциация (U – редкоземельные элементы – Ba – As – Na – Ag – Vг) фиксирует наиболее распространённые в городе типы источников загрязнения – топливно-энергетический комплекс, стройиндустрию, предприятия по металлообработке и автотранспорт (Таловская, 2008).

Начиная с 2009 г. ОГБУ «Областной комитет охраны окружающей среды и природопользования» проводит ежегодный мониторинг загрязнения снежного покрова на территории г. Томска. Точки мониторинга за плотностью выпадения загрязняющих веществ (взвешенные вещества, нитриты, нитраты, аммоний, фенолы, железо, цинк, свинец, медь, бенз(а)пирен, хлориды и нефтепродукты; кадмий и фосфаты в 2009 г.) на снежный покров располагаются во всех административных районах города в зонах влияния автотранспорта,

промышленных предприятий, а также в зонах отдыха населения, в том числе на детских площадках и около школ (<http://www.green.tsu.ru/>, 2015).

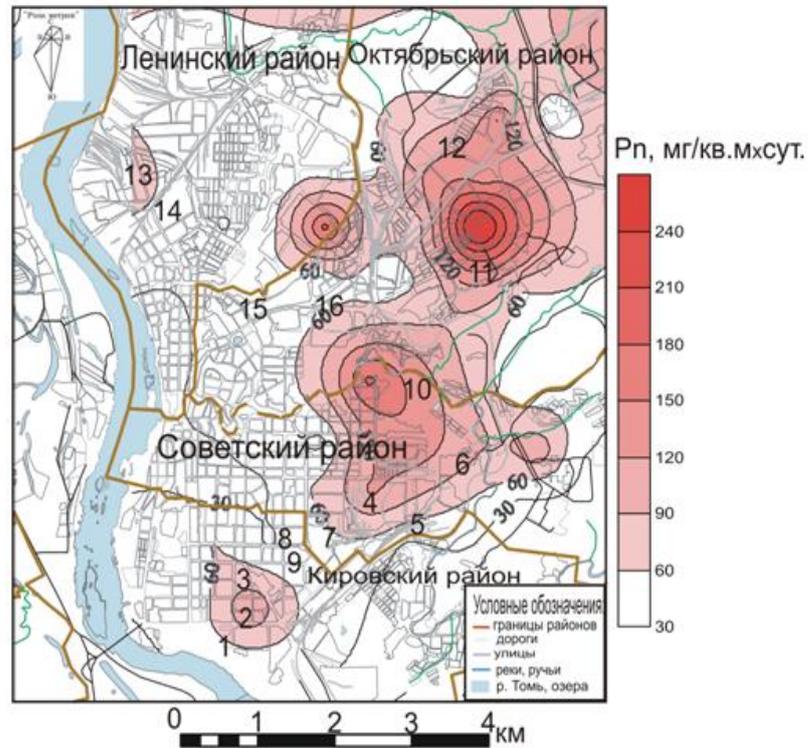


Рисунок 2.9 – Схема пространственного распределения величины среднесуточной пылевой нагрузки на территорию г. Томска, 2007 г. (Таловская, 2008)

Карты-схемы плотности выпадения взвешенных веществ (атмосферной пыли) на снежный покров на территории г. Томска с 2009 по 2014 гг. представлены на рисунке 2.10. Анализ данных пространственного распределения пылевого загрязнения снежного покрова позволяет сделать вывод о сохранении на протяжении всего периода проведения мониторинга наиболее контрастных очагов загрязнения на территории города. Один из очагов пылевого загрязнения территории г. Томска объединяет центральную и южную части города, которые испытывают кумулятивное техногенное воздействие со стороны близ расположенных промышленных предприятий и автотранспорта. Другой ореол повышенного пылевого загрязнения, расположенный в восточной части г. Томска, который начиная с 2011 г. оформился наиболее контрастно и отражает воздействие в результате строительства новых транспортных развязок, автомагистралей и последующее перераспределение транспортных потоков в городе. Эпицентр данного очага соответствует наиболее проблемным участкам новой транспортной схемы города (пересечение ул. Суворова и ул. Иркутский тракт, ул. Ключева) и зоне воздействия предприятий строительной отрасли (кирпичные заводы).

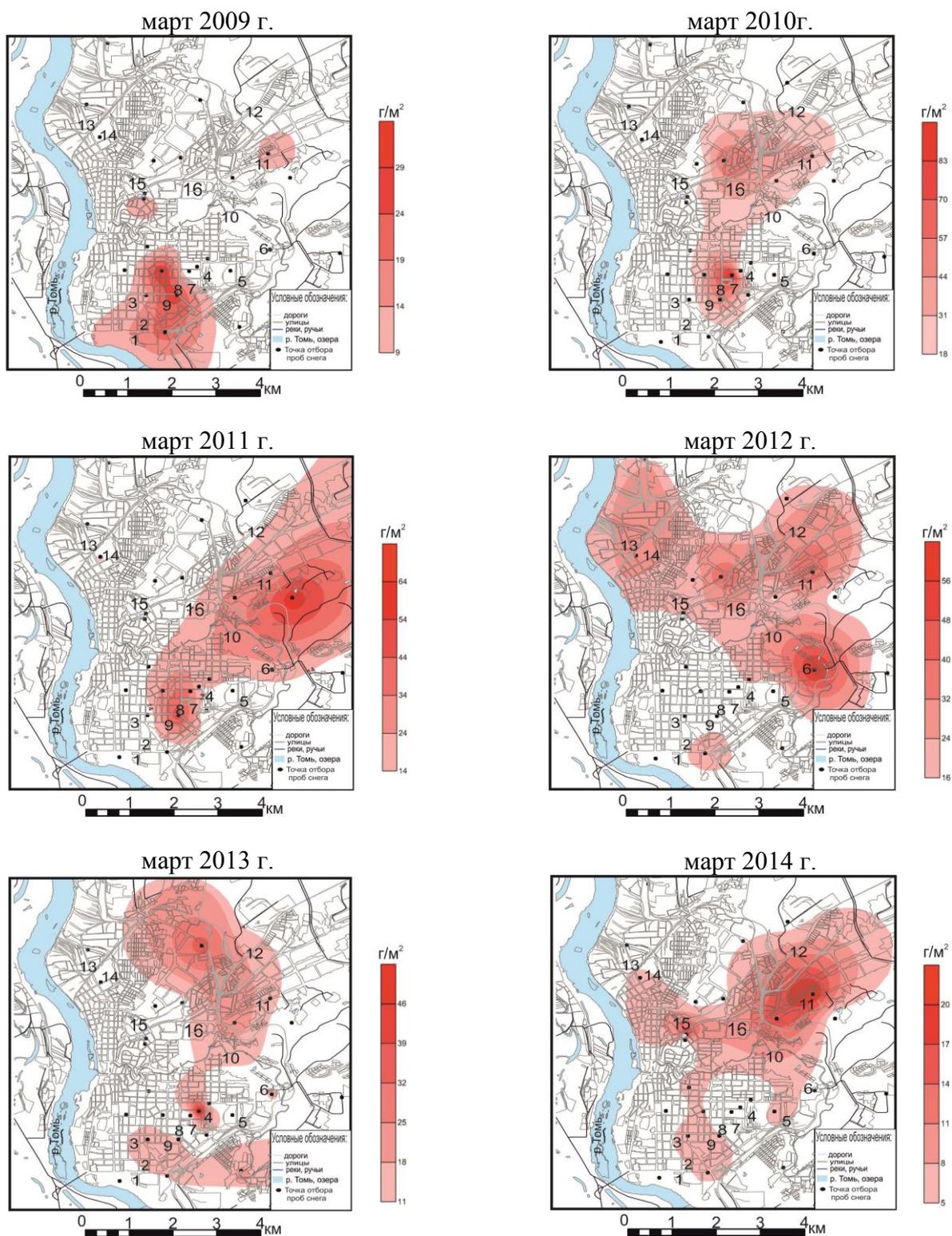


Рисунок 2.10 – Карты-схемы плотности выпадения атмосферной пыли на снежный покров в г. Томске с 2009 по 2014 гг. (схемы построены автором по данным ОГБУ «Областной комитет охраны окружающей среды и природопользования»)

Сравнение средних значений величины выпадения атмосферной пыли на снежный покров в г. Томске с использованием критериев непараметрической статистики (критерии Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни) показало незначимость различий плотности

выпадения взвешенных веществ на снежный покров на территории города в период с 2010 по 2013 гг. (17,5 г/м² в 2010 г., 14,2 г/м² в 2011 г., 16,5 г/м² в 2012 г., 11,0 г/м² в 2013 г.) Тогда как в 2009 г. (8,7 г/м²) и 2014 г. (5,2 г/м²) уровень пылевого загрязнения является статистически значимо более низким (рисунок 2.11).

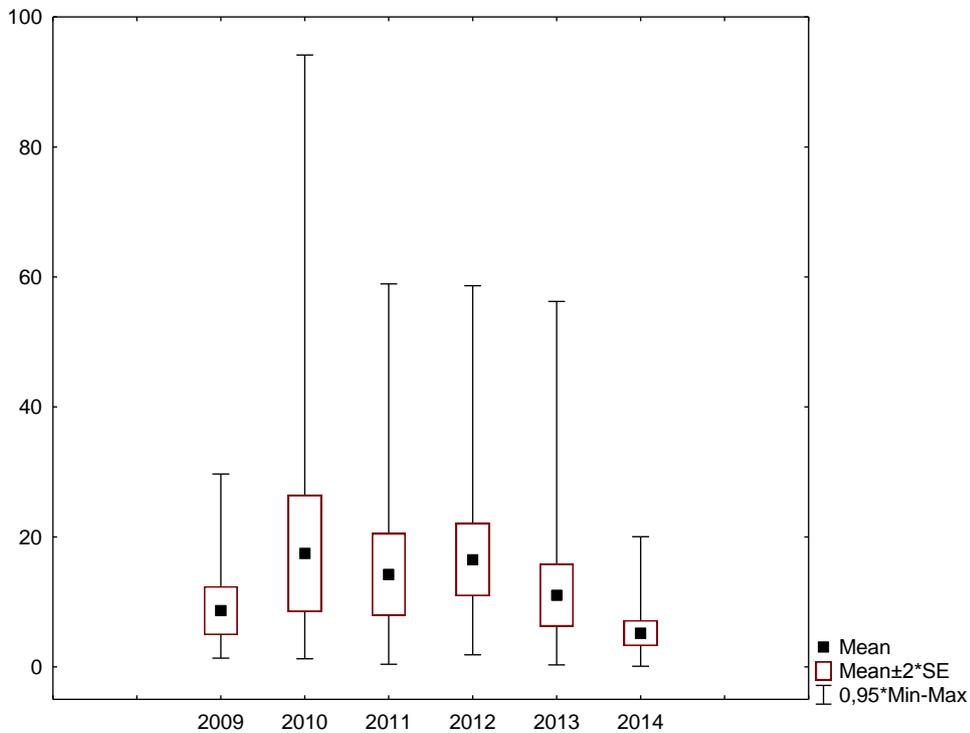


Рисунок 2.11 – Средние величины выпадения атмосферной пыли на снежный покров в г. Томске (г/м²) с 2009 по 2014 гг. (построены автором по данным ОГБУ «Областной комитет охраны окружающей среды и природопользования»)

Как отмечалось ранее, Томская ГРЭС-2 является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в г. Томске. На Томской ГРЭС-2 действует десять паровых котлов и пять паровых турбин. Установленная электрическая мощность Томской ГРЭС-2 составляла 331 МВт, тепловая – 815 Гкал/час. Основными видами топлива Томской ГРЭС-2 являются природный газ и каменный уголь. На Томской ГРЭС-2 сжигается уголь Кузнецкого угольного бассейна (например, Моховского и Талдинского угольных разрезов), преимущественно марок «Д», «ДГ». Начиная с 2006 г. на Томской ГРЭС-2 наблюдается устойчивая тенденция увеличения доли используемого угля в общем топливном балансе. В 2012 г. доля угля составляла 48% (341,2 тыс. тонн), против 17,6% (200 тыс. тонн) угля в 2006 г. в корзине энергоресурсов теплоэлектростанции. Средняя зольность угля, сжигаемого на Томской ГРЭС-2, составляет 17,0%, содержание серы – 0,35%, азота – 1,75%, массовая доля минеральных примесей – 2–4%, calorificity угля – 5160 ккал/кг.

Основным видом воздействия Томской ГРЭС-2 на состояние воздушного бассейна города является выброс загрязняющих веществ, образующихся при сжигании в котлах органического топлива. При сжигании твердого топлива с дымовыми газами в атмосферу выделяются: летучая зола углей, диоксид и оксид азота, диоксид серы, бенз(а)пирен, соединения Fe, Mn, Ni, Cr, сероводород, фтористые соединения, углеводороды. Пылегазоулавливающие установки Томской ГРЭС-2 предназначены для улавливания золы и частичного улавливания диоксида серы в мокрых золоуловителях, средняя эффективность очистки составляет 96%. В итоге в атмосферный воздух г. Томска ежегодно выбрасывается до 7,05 тыс. тонн загрязняющих веществ, из которых 32% (2,23 тыс. тонн) – это твердые вещества. Отвод дымовых газов на Томской ГРЭС-2 осуществляется через две дымовые трубы высотой 100 м каждая с диаметрами устьев 4,5 и 6 м.

Кроме Томской ГРЭС-2 приоритетными источниками загрязнения атмосферного воздуха и депонирующих сред в г. Томске являются предприятия нефтехимической отрасли и строительной отрасли – кирпичные заводы (Таловская, 2008; Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

Томскнефтехим – крупнейшее предприятие нефтехимической отрасли России, которое до 2000-х годов совместно с предприятием «Сибметхим» функционировало в структуре Томского нефтехимического комбината (ТНХК). Но и на сегодняшний день производственная деятельность двух предприятий объединена общим технологическим циклом, общими системами коммуникаций и общей производственной площадкой. Нефтехимические предприятия относятся к производствам 1-й категории опасности, а основными технологическими линиями являются производства «Этилен», «Полипропилен», «Полиэтилен», «Метанол» и производство формалина и карбамидоформальдегидных смол (ФиКС). Около 70% всех выбросов нефтехимического предприятия приходятся на котельную и печи цеха пиролиза. Также источником значительных объемов выбросов в атмосферу являются факельные установки. В результате производственной деятельности нефтехимического производства в атмосферный воздух выбрасывается более сотни органических и неорганических загрязняющих веществ, например, соединения алюминия, вольфрама, ванадия, титана, железа, марганца, меди, натрия, никеля, олова, свинца, сурьмы, хрома, кальция, фтора.

Производственные площадки кирпичных заводов располагаются в северо-восточной части г. Томска, в Октябрьском районе города, на расстоянии 1000 м друг от друга. На заводах применяются одинаковые технологии производства, и используется одинаковое сырье, в результате чего и выбросы предприятий идентичны друг другу. В структуре кирпичных заводов функционируют три цеха: цех по производству полнотелого рядового кирпича, цех по производству пустотелого рядового и лицевого кирпича и цех по производству лицевого

кирпича офактуренного полимерным покрытием. В основу технологии производства положен метод пластического формования изделий из подготовленных соответствующим образом глиняных масс с последующим обжигом в туннельных газовых печах. В производстве используется сырье Верхового месторождения суглинков, Октябрьского месторождения светложгущихся глин, II Кудровского месторождения строительного песка, Вознесенского месторождения строительного песка, Коларовского месторождения ПГМ, Чернореченского месторождения ПГМ, Асиновского месторождения ПГМ и строительного песка; III Родионовского месторождения суглинков, II Корниловского месторождения керамзитового сырья, Копыловского месторождения строительного песка. При изготовлении кирпича и другой продукции на заводах в атмосферу выбрасываются соединения железа, марганца, свинца, хрома, бензапирен, оксиды азота, сероводород, фтористые соединения, углеводороды, бензол, ксилол, толуол, этилбензол, неорганическая пыль. Эффективность работы пылегазоулавливающего оборудования кирпичных заводов 74,8 – 90,5%.

3 МЕТОДИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Общая методика работ. Опробование снежного покрова

Для изучения нерастворимой и растворимой фаз снега осуществлялся отбор проб снега в период максимального влагозапаса, что в климатических условиях Томской области соответствует концу февраля – началу марта. С 2011 по 2014 гг. автор совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ проводил отбор проб снега на территории 102 населенных пунктов в 16 районах Томской области, а также на территории одного из нефтяных месторождений на севере области (Александровский район) (рисунок 3.1, таблица 3.1). В каждом населенном пункте было отобрано от 3 до 20 проб снега, точки отбора проб располагались согласно принципу «конверта». Всего на территории населенных пунктов Томской области было отобрано и изучено 637 снеговых проб. В 2013 и 2014 гг. было отобрано 10 и 3 пробы снега соответственно на площадке локального фона – вблизи полигона «Фоновый» Института оптики атмосферы СО РАН около с. Киреевск (лесная зона в 70 км от г. Томска).

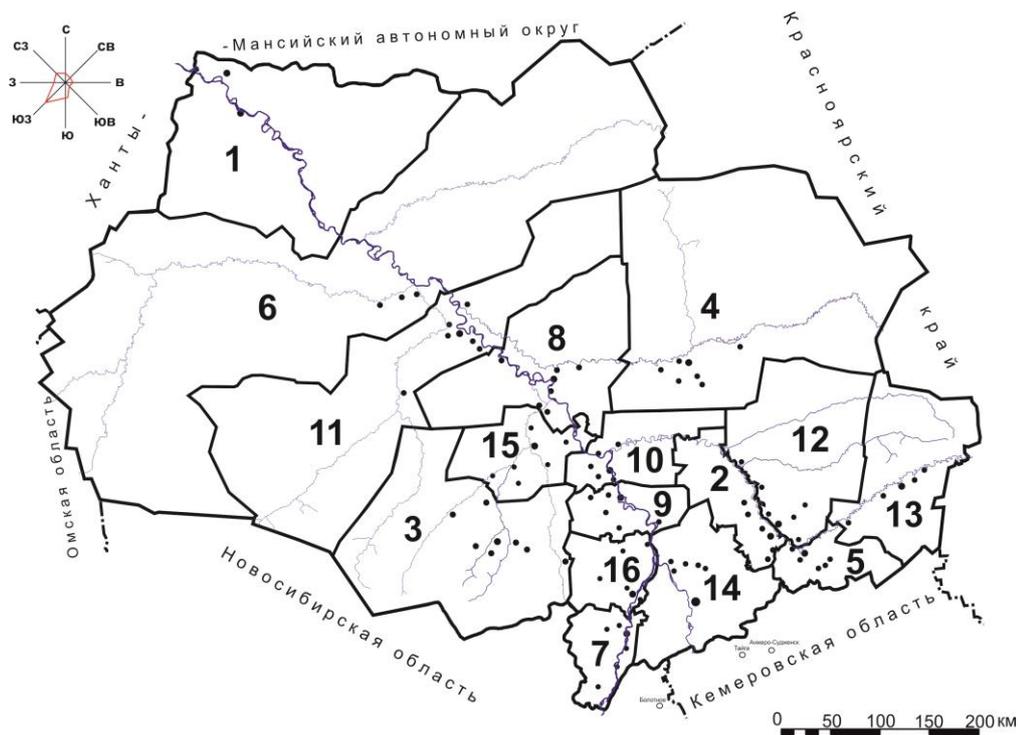


Рисунок 3.1 – Схема снегового опробования на территории Томской области

Районы Томской области (1-16): 1 – Александровский, 2 – Асиновский, 3 – Бакcharский, 4 – Верхнекетский, 5 – Зырянский, 6 – Каргасокский, 7 – Кожевниковский, 8 – Колпашевский, 9 – Кривошеинский, 10 – Молчановский, 11 – Парабельский, 12 – Первомайский, 13 – Тегульдетский, 14 – Томский, 15 – Чаинский, 16 – Шегарский.

Примечание: на схеме точками обозначены только те населенные пункты, на территории которых производился отбор проб снега

Таблица 3.1 – Изученность нерастворимой фазы снега на территории населенных пунктов
Томской области

Район	Населенный пункт	Год опробования	Сеть наблюдения	Количество проб	
Асиновский район	Асино	2011	метод конверта	11	37
	Больше-Дорохово			5	
	Ягодное			5	
	Михайловское			5	
	Филимоновка			5	
	Новокусово			6	
Зырянский район	Михайловка	2011	метод конверта	5	28
	Окунеево			5	
	Красноярка			5	
	Туендат			5	
	Цыганово			4	
	Зырянка			4	
Кожевниковский район	Вороново	2011	метод конверта	5	33
	Уртам			5	
	Чилино			5	
	Старая Ювала			5	
	Новопокровка			5	
	Кожевниково			8	
Шегарский район	Ново-Ильинка	2011	метод конверта	4	36
	Каргала			6	
	Мельниково			10	
	Монастырка			5	
	Маркелово			5	
	Победа			6	
Кривошеинский район	Кривошеино	2011	метод конверта	9	33
	Малиновка			5	
	Красный яр			5	
	Пудовка			5	
	Ново-Кривошеино		точечный	1	
	Володино		метод конверта	5	
	Рыбалово		3		
Молчановский район	15 км от Сулзат	2011	метод конверта	5	35
	Сулзат			5	
	Могочино			5	
	Тунгусово			5	
	Молчаново			5	
	Соколовна			5	
	Гришино			5	

Район	Населенный пункт	Год опробования	Сеть наблюдения	Количество проб	
Бакчарский район	Высокий Яр	2012	метод конверта	5	41
	Парбиг			5	
	Бакчар			10	
	Богатыревка			5	
	Большая Галка			5	
	Польнянка			5	
	Поротникова			6	
Каргасокский район	Каргасок	2012	площадная	20	42
	Павлово		метод конверта	6	
	Геологический			4	
	Большая Грива			6	
	Новоюгино			6	
Парабельский район	Парабель	2012	площадная	12	42
	Чигара		метод конверта	5	
	Новосельцево			5	
	Новиково			5	
	Заводской			5	
	Нарым			5	
	Высокий Яр			5	
Колпашевский район	Малиновка	2012	точечная	1	45
	Инкино		метод конверта	5	
	Тогур			5	
	Новоселово			5	
	Белояровка			5	
	Чажемто			6	
	Могильный Мыс			3	
	Озерное			5	
	Колпашево			10	
Чаинский район	Коломинские Гривы	2013	метод конверта	5	43
	Восточный			5	
	Бундюр			5	
	Гореловка			5	
	Усть-Бакчар			4	
	Гришкино			5	
	Чаинск			5	
	Подгорное			9	
Тегульдетский район	Тегульдет	2013	площадная	15	36
	Куяновская Гарь		метод конверта	6	
	Байгалы			5	
	Новошумилово			5	
	Черный Яр			5	

Район	Населенный пункт	Год опробования	Сеть наблюдения	Количество проб	
Первомайский район	Апсагачево	2013	метод конверта	6	39
	Комсомольск			5	
	Сергеево			5	
	Первомайское			10	
	Куяново			5	
	Орехово			5	
	Туендат			3	
Верхнекетский район	Палочка	2013	метод конверта	5	38
	Полуденовка			5	
	Ягодный			4	
	Санджик			4	
	Нибега			4	
	Клюквинка			7	
	Белый Яр			9	
Томский район	Орловка	2011, 2013	метод конверта	10	56
	Самусь			11	
	Наумовка			10	
	Георгиевка			10	
	Петропавловка			10	
	Поросино	2013		5	
Александровский район	Стрежевой	2014	площадная	19	40
	Александровское			9	
	Нефтяное месторождение		точечная	12	
Полигон «Фоновый»	с. Киреевск	2013, 2014	метод конверта	13	13
Итого:					637

Объем изучения растворимой фазы снега на территории населенных пунктов ряда административных районов Томской области составил 62 пробы (таблица 3.2).

На территории г. Томска ежегодно с 2009 по 2014 гг. проводился мониторинг нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2, а также нефтехимического завода (Томскнефтехим) и кирпичных заводов (таблица 3.3, рисунок 3.2), дополненный в 2012, 2013 и 2014 гг. изучением растворимой фазы снега (таблица 3.4). Пробы снега в окрестностях указанных промышленных предприятий города отбирались по векторной сети в северо-восточном направлении от промплощадок. В окрестностях Томской ГРЭС-2 отбор проб снега производился на удалениях 730 м, 1000 м, 1300 м, 1600 м и 2000 м от труб теплоэлектростанции; в окрестностях нефтехимического завода – на удалении 300 м, 600 м, 900 м, 1200 м и 1500 м от промплощадки завода; в окрестностях кирпичных заводов – на удалении 200 м, 400 м, 600 м, 800 м и 1000 м от промплощадки заводов. На расположение точек опробования снежного покрова оказывали влияние ландшафтные условия, характер жилой

застройки и автодорожной сети. Таким образом, за период 6-ти летнего мониторинга было отобрано 90 проб снега. Также было отобрано 27 проб снега на территории г. Томска в зонах воздействия промышленных предприятий, автотранспорта и на территориях детских площадок (точки отбора соответствуют пунктам ежегодного отбора проб снега ОГБУ «Облкомприрода»).

Таблица 3.2 – Изученность растворимой фазы снега на территории населенных пунктов Томской области

Район исследования (год отбора проб)	Количество проб
Бакcharский район (2012 г.)	10
Парабельский район (2012 г.)	11
Каргасокский район (2012 г.)	10
Колпашевский район (2012 г.)	5
Томский район (2013 г.)	11
Верхнекетский район (2013 г.)	2
Чаинский район (2013 г.)	2
Александровский район (2014 г.)	6
Полигон «Фоновый» (2013, 2014 г.)	5
Итого:	62

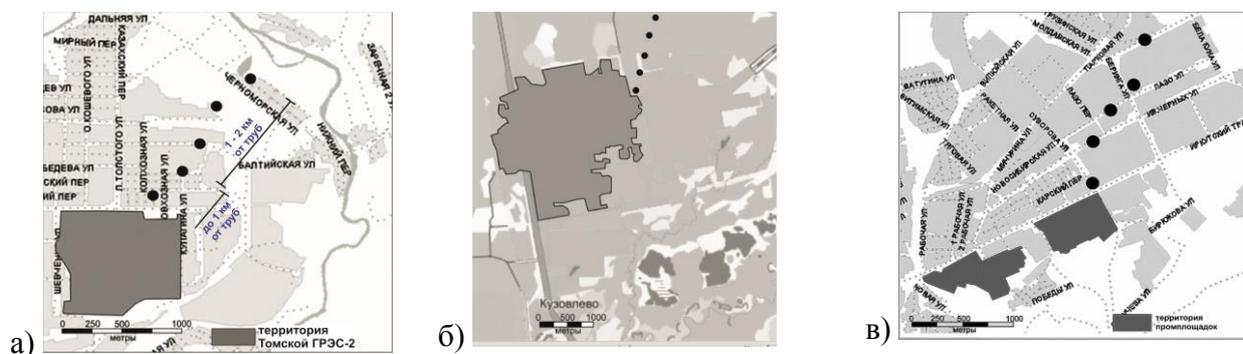


Рисунок 3.2 – Схема опробования снежного покрова в окрестностях Томской ГРЭС-2 (а), нефтехимического завода (б) и кирпичных заводов (в) с 2009 по 2014 гг.

Таблица 3.3 – Изученность нерастворимой фазы снега в окрестностях промышленных предприятий г. Томска

Промышленные предприятия	Год опробования	Сеть наблюдения	Количество проб
Теплоэлектростанция Томская ГРЭС-2	2009 - 2014	векторная	30
нефтехимический завод Томскнефтехим	2009 - 2014	векторная	30
кирпичные заводы	2009 - 2014	векторная	30
Томск	2014	точечная	27
Итого:			117

Таблица 3.4 – Изученность растворимой фазы снега в окрестностях промышленных предприятий г. Томска

Промышленные предприятия / год отбора проб	Количество проб
Теплоэлектростанция Томская ГРЭС-2 / 2012, 2013 и 2014 гг.	9
нефтехимический завод Томскнефтехим / 2012, 2013 и 2014 гг.	9
кирпичные заводы / 2012, 2013 и 2014 гг.	8
Итого:	26

Таким образом, всего было отобрано и изучено 754 проб нерастворимой фазы снега и 88 проб растворимой фазы. Также были изучены образцы отходов Томской ГРЭС-2 (шлак и зола-уноса), предоставленные сотрудниками теплоэлектростанции.

Все работы, включая отбор и подготовку проб снега, были произведены с учетом существующих методических рекомендаций (Назаров и др., 1978; Методические..., 1982; Василенко и др., 1985), руководства по контролю загрязнения атмосферы (Руководство..., 1991) и на основе многолетнего практического опыта эколого-геохимических исследований в Западной Сибири (Экология..., 1994; Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Таловская, 2008; Бортникова и др., 2009).

Отбор снеговых проб производили из шурфов, организованных на всю мощность снега, кроме 5 см, прилегающих к почвенному покрову, для исключения возможного загрязнения снеговых проб литогенной компонентой, смешивающейся с приземным слоем снега во время формирования снежного покрова (Методические..., 1982). Результаты исследований при отборе проб снега на всю мощность снегового покрова являются наиболее представительными, так как исключают последствия флуктуации направления ветра и фактор непостоянства выбросов загрязняющих веществ. Такие результаты дают средневзвешенную характеристику величины

загрязнения, которая была усреднена естественным путем в течении продолжительного времени, т.е. с момента установления снегового покрова и до момента отбора пробы. В ходе процедуры отбора проб снега обязательно ведется замер площади и глубины шурфа, а также фиксируется время (в сутках) от начала снегостава до дня отбора проб. Вес каждой пробы составлял от 15 до 18 кг. Отбор снега предполагает либо отдельный анализ нерастворимой и растворимой фаз, либо только его нерастворимой составляющей, которая состоит из атмосферной пыли, осаждаемой на поверхность снежного покрова (рисунок 3.3). Предметом исследования являлись нерастворимая и растворимая фазы снега. Процесс пробоподготовки начинается с таяния снега при комнатной температуре. Затем последовательно проводится декантация верхней части отстоянной талой воды, фильтрация нижней части снеготалой воды через беззольный фильтр типа «синяя лента», высушивание фильтра, просеивание до фракции менее 1 мм и взвешивание фильтра с осадком. Разница в массе фильтра до и после фильтрования характеризовала массу пыли в пробе.

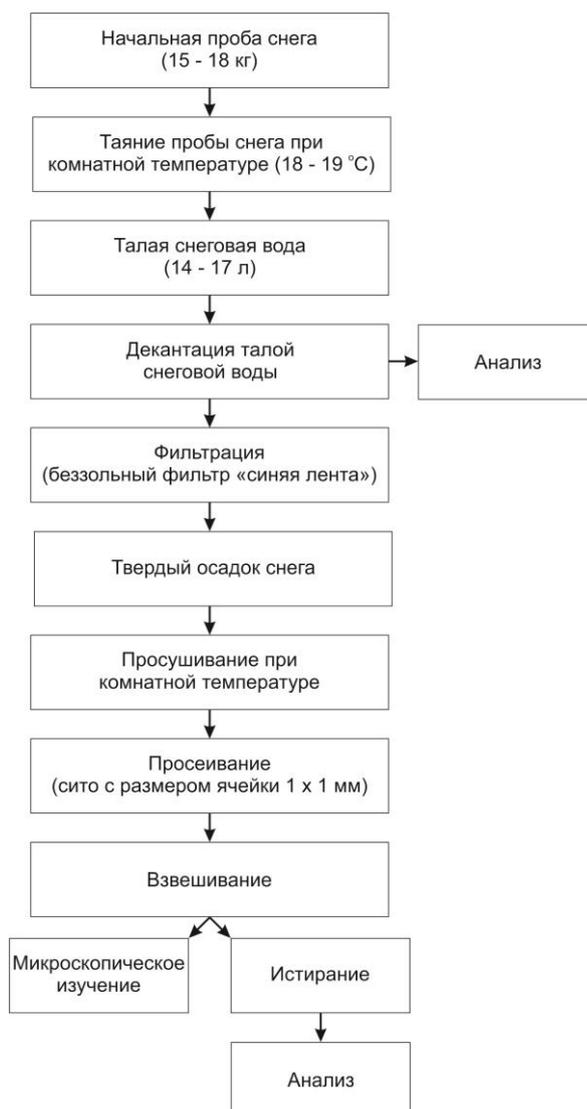


Рисунок 3.3 – Схема подготовки и изучения проб снега

3.2 Аналитическое обеспечение исследований

Лабораторно-аналитические исследования проб нерастворимой и растворимой фаз снега проводились с применением комплекса современных методов анализа в аккредитованных лабораториях международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» на базе кафедры геоэкологии и геохимии, научно-производственного центра «Вода» на базе кафедры гидрогеоэкологии и инженерной геологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета; в химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск); в лаборатории группы компаний «Люмэкс» (г. Санкт-Петербург). Аналитические исследования проб проводились по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения, измерения контролировались параллельными определениями элементов (внутренний контроль) и использованием нескольких аналитических методов (внешний контроль).

1. Ядерно-геохимическая лаборатория кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета. Аналитики: А.Ф. Судыко и Л.В. Богутская. Область расширения аккредитации, согласно аттестату № РОСС RU.0001.511901.

Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА).

Метод позволяет определять в пробах концентрации As, Cr, Ba, Sr, Co, Zn, Sb, редких (Hf, Sc, Cs, Rb, Ta), редкоземельных (Eu, Sm, Lu, Yb, La, Ce, Tb, Nd), радиоактивных (U, Th) элементов, макрокомпонентов (Ca, Na, Fe), благородных металлов (Au, Ag) и Br.

В основе метода ИНАА заложена регистрация радионуклидов, которые образуются при облучении проб потоком тепловых нейтронов с интегральной дозой $(2-8) \times 10^{17}$ н/см². Облучение исследуемых образцов производится на исследовательском реакторе ИРТ-Т учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор», входящего в структуру Физико-технического института Томского политехнического университета. Для регистрации излучений радионуклидов используется Ge (Li) – детектор. Данная методика утверждена Научным советом по аналитическим методам при ВИМСе и успешно используется лабораторией ядерно-геохимических исследований при ТПУ в течении многих лет. Пределы определения химических элементов методом ИНАА приведены в таблице 3.5.

ИНАА имеет ряд достоинств: возможность анализа малых навесок (100-400 мг); количественное определение большого спектра химических элементов из одной навески; отсутствие зависимости результатов определений от химических свойств элементов. К недостаткам метода можно отнести необходимость наличия специальных помещений для «остывания» облученных проб и для выполнения радиохимических и измерительных операций.

Таблица 3.5 – Нижние пределы определения содержания химических элементов в природных средах (почва, твердый осадок снега, биота и др.) методом ИНАА (Эколого-геохимические..., 2006)

Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг
Натрий (Na)	20	Барий (Ba)	8
Кальций (Ca)	300	Лантан (La)	0,007
Скандий (Sc)	0,002	Церий (Ce)	0,01
Хром (Cr)	0,1	Самарий (Sm)	0,01
Железо (Fe)	100	Европий (Eu)	0,01
Кобальт (Co)	0,1	Тербий (Tb)	0,001
Никель (Ni)	20	Иттербий (Yb)	0,05
Цинк (Zn)	2	Лютеций (Lu)	0,01
Рубидий (Rb)	0,6	Гафний (Hf)	0,01
Мышьяк (As)	1	Тантал (Ta)	0,05
Стронций (Sr)	7	Золото (Au)	0,002
Серебро (Ag)	0,02	Торий (Th)	0,01
Цезий (Cs)	0,3	Уран (U)	0,01
Сурьма (Sb)	0,007	Бром (Br)	0,3

Всего методом ИНАА было изучено 756 образцов (пробы нерастворимой фазы снега, отходы теплоэлектростанции).

2. Лаборатория электронно-оптической диагностики (кафедра геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета)

1. Изучение вещества проводили с использованием электронного микроскопа S-3400N фирмы Hitachi (Япония) с энергодисперсионной приставкой для микроанализа Bruker XFlash 4010 (Германия) (консультант – ассистент кафедры ГЭГХ ТПУ С.С. Ильенок).

Для детального исследования вещественного состава образца (пробы нерастворимой фазы снега, отходов) материал помещали в кювету с помощью углеродистого скотча, а также изготавливали специальные шашки на основе эпоксидной смолы. Растровый электронный микроскоп S-3400N имеет высокую разрешающую способность (3 нм), что в итоге позволяет получать изображения исследуемых образцов твердых частиц атмосферной пыли в высоком качестве. Было изучено 232 отдельные частицы. Каждую частицу фотографировали и регистрировали ее энергодисперсионный спектр.

2. Рентгенофазовый анализ на порошковом дифрактометре Bruker D2 PHASER (консультант – к.х.н., Путилин С.Н.).

Масса навески, необходимой для данного вида анализа, составляла 1 г. В агатовой ступке вещество измельчали до состояния пудры. Кювету, выполненную из полимерного материала, заполняли истолченным образцом. Время снятия дифрактограммы одной пробы составляет от 10 минут до 1 часа, при этом время экспозиции в одной точке составляло до 0,3 сек. Для интерпретации результатов использовали программу Diffraс.eva и базу дифрактограмм минералов PDF2. Количественное определение входящих в состав проб кристаллических фаз осуществляли в программной среде TOPAS. Было изучено 4 пробы нерастворимой фазы снега.

3. *Лаборатория микроэлементного анализа (кафедра геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета). Консультант: к.х.н., доцент каф. ГЭГХ Н.А. Осипова.*

Содержание ртути в пробах определяли на атомно-абсорбционном спектрометре РА-915⁺ (Люмэкс, Россия) с зеемановской коррекцией с использованием пакета программ RA915P (ПНД Ф 16.1:2.23-2000). Пробы нерастворимой фазы снега анализировались с помощью пиролитической приставки ПИРО-915 (метод пиролиза). Диапазон измерений данного метода для массовой доли общей ртути в пробах составляет от 1 до 10000 мкг/кг. Границы относительной погрешности измерений при числе наблюдений n=2 (для каждой пробы нерастворимой фазы снега было проанализировано по 2 навески, в качестве результирующего значения бралось среднеарифметическое по двум измерениям), доверительной вероятности P=0,95 и диапазоне измерений массовой доли общей ртути от 100 до 10000 мкг/кг составляет 25%. Концентрация ртути в растворимой фазе снега была определена с помощью приставки РП-91 (метод «холодного пара»), предел обнаружения ртути в снеготалой воде – 0,005 мкг/дм³. Всего методом атомно-абсорбционной спектрометрии было изучено 468 проб нерастворимой фазы снега и 75 проб растворимой фазы снега.

Достоверность измерений концентрации ртути в пробах нерастворимой фазы снега была проверена в рамках процедуры внешнего аналитического контроля в лаборатории группы компаний «Люмэкс» (г. Санкт-Петербург) (консультант – Головацкая Л.В.). Полученные данные характеризуются высокой сходимостью результатов анализов (рисунок 3.4).

4. *Научно-образовательный центр «Вода», аккредитованная проблемная научно-исследовательская лаборатория гидрогеохимии, зарегистрирована в Реестре Системы № РОСС RU. 0001.511901 от 12.07.2011 г. (Аналитики В.А. Шушарина, Н.И. Шердакова, М.Г. Камбалина).*

Аналитическое изучение общего химического состава проб растворимой фазы снега проводилось методом ионной хроматографии (SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}); потенциометрическим (F^- , рН), титриметрическим (CO_2 , CO_3 , HCO_3^- , перманганатная

окисляемость), кондуктометрическим (электропроводность) и фотоколориметрическим ($\text{Fe}^{\text{общ}}$) методами. Общая жесткость проб снеготалой воды определялась расчетным методом. Чувствительность применяемых методов представлена в таблице 3.6. Всего было изучено 88 проб растворимой фазы снега.

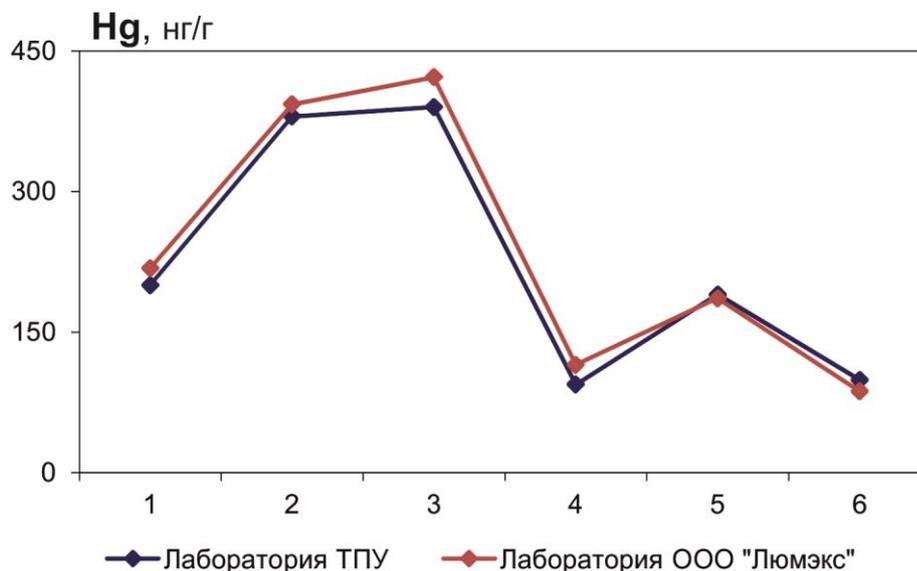


Рисунок 3.4 – Результаты внешнего контроля измерения содержания ртути в пробах нерастворимой фазы снега (1 –6 пробы твердого осадка снега)

Таблица 3.6 – Чувствительность применяемых методов анализа общего химического состава снеготалой воды

Определяемый компонент	pH	CO_2	CO_3	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl	Об.ж.	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
единицы измерения		мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг-э/л	мг/л	мг/л	мг/л
Чувствительность метода	1	4	3	3	0,1	0,1		0,05	0,05	0,1
Определяемый компонент	K^+	$\text{Fe}^{\text{общ}}$	Мин.	Ок. перм.	Элекр опрово дность	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	F^-
единицы измерения	мг/л	мг/л	мг/л	$\text{мгO}_2/\text{д м}^3$	mS/см	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
Чувствительность метода	0,05	0,1		0,4	0	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1

5. Химико-аналитический центр «Плазма», Аттестат аккредитации РОСС RU № 0001.516895 от 21 мая 2008 г., действителен до 25 марта 2016 г. (Инженер-исследователь Т.А. Филипас)

Содержание 69 химических элементов (Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Au, Tl, Pb, Bi, Th, U) в пробах нерастворимой (78 проб) и растворимой (78 проб) фаз снега были определены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (MS-ICP).

Сходимость результатов определения содержания химических элементов в пробах нерастворимой фазы снега методом ИНАА и методом MS-ICP является удовлетворительной (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Сравнительный анализ определения элементов в пробах нерастворимой фазы снега методами ИНАА (ядерно-геохимическая лаборатория ТПУ) и MS-ICP (ООО ХАЦ «Плазма»)

Эле-мент	ИНАА				MS-ICP				Расхожд ение, %
	X	$\pm\lambda$	S ²	Е/А	X	$\pm\lambda$	S ²	Е/А	
n, %									
Натрий (Na)	0,75	0,06	0,28	-0,23/0,83	0,69	0,04	0,19	-0,94/0,56	7
Железо (Fe)	3,24	0,09	0,40	0,10/-0,20	3,26	0,13	0,58	-1,27/0,03	1
n x 10 ⁻⁴ %									
Кобальт (Co)	16,5	0,7	3,1	0,26/0,67	16,9	0,9	4,0	-0,25/0,87	3
Рубидий (Rb)	59,2	3,0	13,2	-0,45/0,43	54,1	3,3	14,7	-1,10/0,24	9
Стронций (Sr)	309	45	203	2,7/1,4	341	26	118	0,8/0,7	10
Сурьма (Sb)	4,09	0,48	2,15	-1,68/0,32	4,29	0,49	2,19	-0,87/0,58	5
Цезиций (Cs)	3,62	0,20	0,89	-0,69/-0,38	3,66	0,24	1,05	-0,74/-0,28	1
Барий (Ba)	779	54	240	-0,79/-0,03	904	69	310	0,91/0,83	16
Лантан (La)	36,8	2,1	9,4	-0,36/0,44	35,7	2,5	11,3	-0,59/0,34	3
Цезий (Ce)	79,4	4,2	18,8	-0,88/0,35	76,7	4,5	20,3	-0,50/0,10	3
Неодим (Nd)	30,6	1,5	6,5	-0,66/0,66	29,6	2,0	8,8	-0,02/0,08	3
Самарий (Sm)	5,86	0,28	1,24	-0,36/0,13	5,67	0,39	1,74	0,13/0,21	3
Европий (Eu)	1,28	0,05	0,25	-0,30/0,07	1,09	0,06	0,27	0,78/-0,68	15
Тербий (Tb)	0,96	0,05	0,23	-0,50/0,10	0,79	0,06	0,27	0,78/-0,68	18

Эле-мент	ИНАА				MS-ICP				Расхожд ение, %
	X	$\pm\lambda$	S ²	E/A	X	$\pm\lambda$	S ²	E/A	
Лютеций (Lu)	0,42	0,02	0,08	-0,27/-0,13	0,35	0,03	0,12	-0,40/0,65	17
Тантан (Ta)	1,30	0,10	0,45	1,17/0,87	1,26	0,15	0,66	0,92/1,36	3
Торий (Th)	10,6	0,8	3,4	-0,62/0,61	9,8	0,8	3,6	-0,26/0,71	8
Уран (U)	3,93	0,29	1,28	-0,76/0,43	3,21	0,28	1,25	-1,10/0,28	18

Примечание: X – среднее, $\pm\lambda$ – стандартная ошибка, S² – стандартное отклонение и E/A- эксцесс/асимметрия.

3.3 Методика обработки данных

Обработка аналитических данных изучения нерастворимой и растворимой фаз снега проводилась с использованием прикладных программ «Exel» и «Statistica 8.0». Статистическая обработка данных включала определение пределов изменения значений (разброс), расчет математического ожидания (среднее значение), медианы, моды, стандартного отклонения, дисперсии, вариации и некоторых других параметров. Проводился корреляционный анализ, а также проверка на нормальность распределения выборки полученных данных. Статистическое сравнение средних значений выборок между собой осуществлялось с использованием статистических критериев – параметрического критерия Стьюдента в случае нормальной модели и непараметрических критериев Колмогорова-Смирнова (уровень значимости α_{2k-s}) и U-критерия Манна-Уитни (уровень значимости α_{m-w}) в случае отклонения распределения от нормального закона (Лакин, 1990; Боровиков, 2003; Михальчук и др., 2006).

Построение карт-схем и других графических способов представления информации проводили с помощью программ Surfer и CorelDraw.

Масса пыли в снеговой пробе служила основой для определения пылевой нагрузки P_n в мг/м²·сут или кг/км²·сут, т.е. количества твердых выпадений за единицу времени на единицу площади (Геохимия..., 1990). Расчет проводился по формуле:

$$P_n = P / (S \cdot t), \quad (1)$$

где: P – масса пыли в пробе (мг; кг);

S – площадь шурфа (м²; км²);

t – время от начала снегостава до отбора проб снега (количество суток).

В практике эколого-геохимических исследований используется следующая градация загрязнения исследуемой территории по величине среднесуточной пылевой нагрузки (Геохимия..., 1990) с выделением степеней загрязнения:

- менее 250 мг/м²·сут – низкая
- 251-450 мг/м²·сут – средняя
- 451-850 мг/м²·сут – высокая
- более 850 мг/м²·сут – очень высокая.

Показателем уровня аномальности содержаний химических элементов является коэффициент концентрации (KK), который рассчитывался как отношение содержания химического элемента в нерастворимой фазе снега (C) к его фоновому содержанию (C_{ϕ}):

$$KK = C/C_{\phi} \quad (2)$$

В качестве регионального фона использовались уровни накопления химических элементов в нерастворимой фазе снега на территории Среднего Васюгана (Шатилов, 2001; Язиков, 2006), а в качестве локального фона – данные о содержании химических элементов в нерастворимой фазе снега вблизи полигона «Фоновый» ИОА СО РАН (пос. Киреевск).

Была рассчитана величина общей нагрузки (мг/ (км² · сут.)), создаваемой поступлением каждого отдельного химического элемента на снеговой покров, которая учитывает пылевую нагрузку P_n , (кг/км²·сут.) и концентрацию химического элемента C (мг/кг) в нерастворимой фазе снега:

$$P_{\text{общ}} = C \cdot P_n, \quad (3)$$

коэффициент относительно увеличения общей нагрузки элемента:

$$K_p = P_{\text{общ}} / P_{\phi} \quad (4)$$

где: P_{ϕ} – фоновая нагрузка химического элемента на снеговой покров, рассчитываемая по формуле:

$$P_{\phi} = C_{\phi} \cdot P_{\text{пф}} \quad (5)$$

где C_{ϕ} – фоновое содержание рассматриваемого химического элемента, мг/кг

$P_{\text{пф}}$ – фоновая пылевая нагрузка, которая составляет 7 кг/(км²·сут) (Шатилов, 2001).

Поскольку антропогенные аномалии, как правило, имеют полиэлементный состав, для них рассчитывается суммарный показатель загрязнения $Z_{\text{СПЗ}}$ и нагрузки Z_p , характеризующие эффект воздействия группы элементов (Геохимия..., 1990):

$$Z_{\text{СПЗ}} = \sum KK - (n - 1) \quad (6)$$

$$Z_p = \sum K_p - (n - 1) \quad (7)$$

где n – число химических элементов, учитываемых в расчетах при выполнении условия $KK > 1$ и $K_p > 1$ соответственно.

По величине суммарного показателя загрязнения снежного покрова существует ориентировочная шкала оценки аэрогенных очагов загрязнения, которая предусматривает следующие интервалы степени загрязнения (Геохимия..., 1990):

- менее 64 – низкая

- 64-128 – средняя
- 128-256 – высокая
- более 256 – очень высокая.

По величине суммарного показателя нагрузки, создаваемой выпадением химических элементов на снежный покров, также существует ориентировочная шкала оценки аэрогенных очагов загрязнения (Геохимия..., 1990) по степени загрязнения:

- менее 1000 – низкая
- 1000 - 5000 – средняя
- 5000 - 10000 – высокая
- Более 10000 – очень высокая.

На фоне абсолютных концентраций химических элементов часто довольно трудно оценить вклад антропогенной составляющей, и для такого анализа дополнительно используют коэффициент обогащения или фактор обогащения (Добровольский, 2003; Касимов и др., 2012²) атмосферных примесей химическими элементами по отношению к земной коре или почвам. Идея использования коэффициента обогащения или факторов обогащения заключается в том, что соотношение элементов в атмосферных примесях, имеющих почвенное происхождение, должно соответствовать соотношению этих элементов в почвах и земной коре. Расчет этих факторов проводится относительно наиболее распространенных в почвах и земной коре химических элементов, например, Al (Jickells et al., 1992), Sc (Weiss et al., 1999; Касимов и др., 2012²). В данной работе расчеты велись по отношению к Sc – элементу значительно распространенному в земной коре, но имеющему самые низкие показатели технофильности и техногенности (Иванов, 1997).

Расчет фактора обогащения проб нерастворимой фазы снега химическими элементами производили по формулам:

$$\Phi_{\text{обогащения}} = (C_X/C_{Sc})_{\text{тос}} / (C_X/C_{Sc})_{\text{земн. кора}} \quad (8)$$

$$\Phi_{\text{обогащения}} = (C_X/C_{Sc})_{\text{тос}} / (C_X/C_{Sc})_{\text{почвы}} \quad (9),$$

где $C_{X \text{ тос}}$ – концентрация химического элементов в нерастворимой фазе снега, мг/кг,

$C_{Sc \text{ тос}}$ – концентрация скандия в нерастворимой фазе снега, мг/кг,

$C_{X \text{ земн. кора}}$ – кларк химического элемента для земной коры, мг/кг (Григорьев, 2003),

$C_{Sc \text{ земн. кора}}$ – кларк скандия для земной коры, мг/кг (Григорьев, 2003),

$C_{X \text{ почвы}}$ – концентрация химического элемента в местных почвах, мг/кг (Жорняк, 2009),

$C_{Sc \text{ почвы}}$ – концентрация скандия в местных почвах, мг/кг (Жорняк, 2009),

Согласно формулам (8, 9), фактор обогащения атмосферной примеси, имеющей почвенное происхождение, должен быть близок к единице. В действительности при переносе с почвы в

атмосферу определенные элементы обогащаются в той или иной степени, за счет природных процессов и химических свойств соединений (фракционирование, летучесть). Значения фактора обогащения более 10 свидетельствует о преобладании антропогенного поступления химического элемента из атмосферы (Касимов и др, 2012²) Полезным свойством факторов обогащения является то, что они с большей чувствительностью отражают влияние антропогенных источников в сравнении с концентрациями.

Для оценки избирательной аккумуляции ртути в аэрозолях рассчитывался коэффициент аэрозольной аккумуляции K_a (Добровольский, 2003):

$$K_a = C_{Hg} / K_{Hg}, \quad (10)$$

где C_{Hg} – содержание ртути в нерастворимой фазе снега, мг/кг;

K – кларк ртути в гранитном слое континентальной земной коры, мг/кг (по Беусу А.А., Янин, 1992).

На основе количественных данных о содержании химических элементов в нерастворимой и растворимой фазах снега был рассчитан коэффициент распределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» ($K_{распред}$), характеризующий формы переноса элементов и пути их накопления в снежном покрове (Бортникова и др., 2009):

$$K_{распред} = \lg (C_i \text{ взвесь} / C_i \text{ снеготалая вода}), \quad (11)$$

где $C_i \text{ взвесь}$ – концентрация химического элемента в составе нерастворимой фазы снежного покрова, мг/дм³; $C_i \text{ снеготалая вода}$ – концентрация химического элемента в растворимой фазе снега, мг/дм³.

Расчет коэффициентов подвижности ($K_{подв}$) химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» производился по формуле (Перельман, 1965):

$$K_{подв} = C_i \text{ снеготалая вода} \cdot 100 / (M \cdot C_i \text{ взвесь}\%), \quad (12)$$

где M – минерализация растворимой фазы снега, мг/л

$C_i \text{ взвесь}\%$ – массовая доля химического элемента в составе нерастворимой фазы снежного снега, %.

Также был рассчитан баланс между нахождением химических элементов в составе нерастворимой и растворимой фаз снегового покрова. Процентная доля содержания химического элемента, приходящаяся на твердый осадок снега ($D_{тос}$), рассчитывалась согласно формуле (Маркова, 2003):

$$D_{тос} = (P_i \text{ тос} \cdot 100) / P_i \text{ снег}, \quad (13)$$

где $P_i \text{ тос}$ – масса химического элемента в составе нерастворимой фазы снега, мг,

$P_i \text{ снег}$ – масса химического элемента в составе снеговой пробы в целом, мг;

$$P_i \text{ снег} = P_i \text{ тос} + P_i \text{ снеготалая вода}, \quad (14)$$

где $P_i \text{ снеготалая вода}$ – масса химического элемента в составе растворимой фазы снега, мг;

$$P_{i \text{ ТОС}} = (C_{\text{мг/кг}} \times P) / 1000, \quad (15)$$

где $C_{\text{мг/кг}}$ – концентрация химического элемента в нерастворимой фазе снега, мг/кг;

P – масса пыли в пробе снега, г

$$P_{i \text{ снеготалая вода}} = C_{i \text{ снеготалая вода}} \cdot V, \quad (16)$$

где $C_{i \text{ снеготалая вода}}$ – концентрация химического элемента в растворимой фазе снега, мг/дм³;

V – объем растворимой фазы снега, полученный после таяния снеговой пробы, дм³

Процентная доля содержания химического элемента, приходящаяся на растворимую фазу снега ($D_{\text{снеготалая вода}}$), рассчитывалась согласно формуле:

$$D_{\text{снеготалая вода}} = 100 - D_{\text{ТОС}} \quad (17)$$

Расчет закисляющего потенциала снеготалой воды, производится по формуле (Латыпова и др., 2005):

$$AP = [\text{SO}_4^{2-}] - [\text{Ca}^{2+}] - [\text{Mg}^{2+}] \quad (18)$$

Интерпретация и обобщение полученных результатов проводилось с использованием опубликованной и фондовой информации по рассматриваемой тематике.

4 ПЫЛЕВАЯ И РТУТНАЯ НАГРУЗКА НА ТЕРРИТОРИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

4.1 Пылевая нагрузка и особенности элементного состава нерастворимой фазы снега в окрестностях локальных котельных в населенных пунктах Томской области

На примере ряда населенных пунктов Томской области установлено, что угольные котельные являются одними из основных источников поступления пылевых частиц на снежный покров. Так, уровень пылевого загрязнения снежного покрова вблизи угольных котельных в 1,3 – 7,9 раз выше величины средней пылевой нагрузки на территории населенного пункта в целом. Тогда как вблизи котельных на газовом и древесном топливе уровень пылевого загрязнения или сопоставим, или в 1,3 – 2,7 раза ниже величин средней пылевой нагрузки для населенного пункта (рисунок 4.1).

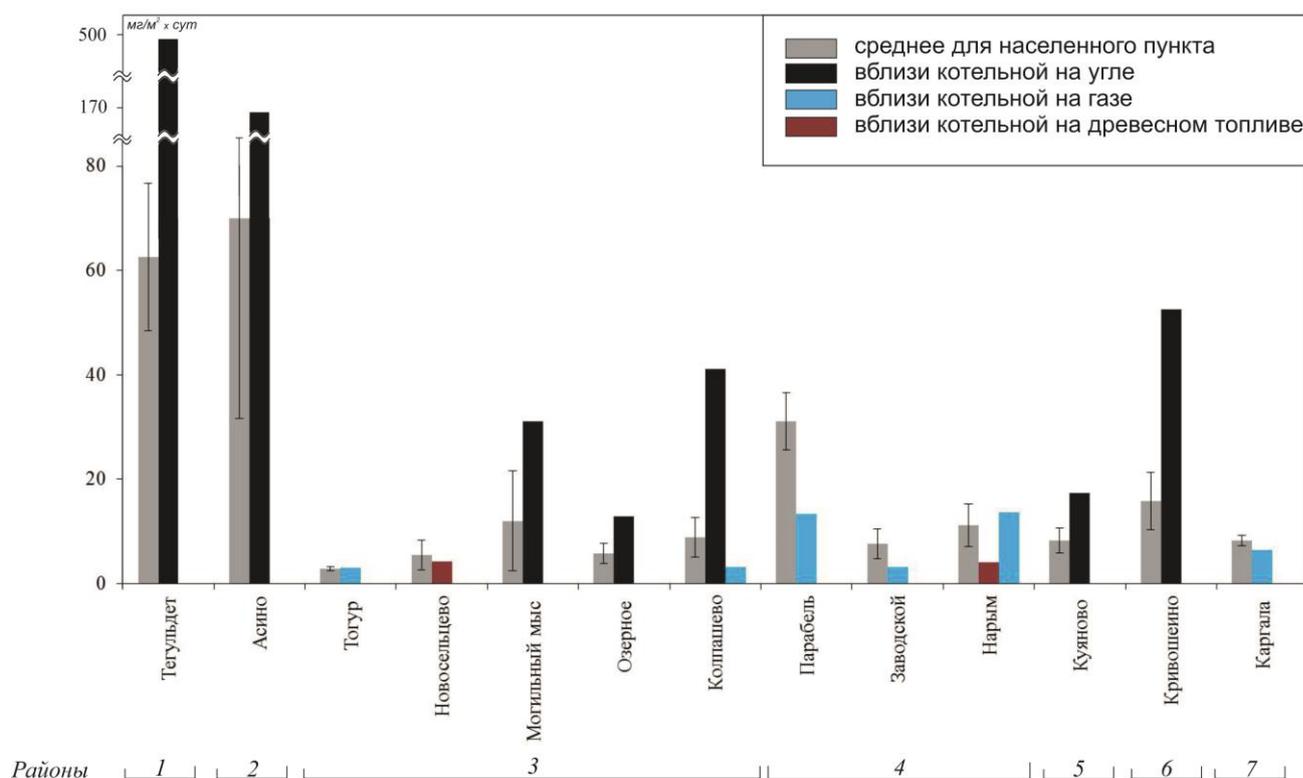


Рисунок 4.1 – Уровни пылевой нагрузки на снежный покров вблизи котельных с различными видами топлива в сравнении со средними значениями пылевой нагрузки на территорию населенных пунктов в целом

Примечание: цифрами обозначены районы Томской области: 1 – Тегульдетский, 2 – Асиновский, 3 – Колташевский, 4 – Парабельский, 5 – Первомайский, 6 – Кривошеинский, 7 – Шегарский

В геохимическом отношении пробы нерастворимой фазы снега вблизи угольных котельных в сравнении с усредненными данными об элементном составе проб для населенного

пункта в целом характеризуются повышенными концентрациями большинства химических элементов из изученного спектра (рисунок 4.2). При этом наиболее контрастные различия характерны для As, Sm, U, Th, Tb, Br, Nd, Co, La, Ba, Ce, Ta, Hf, Sc, Yb, Lu, Eu, Sr, Hg. Это в некоторой степени отражает геохимическую специализацию углей, используемых на объектах теплоэнергетической отрасли Томской области (преимущественно угли Кузнецкого бассейна) (Карта..., 1996; Редкие..., 2000; Арбузов и др., 2007). Уровни содержания химических элементов в золо-шлаковых отходах от сжигания одного и того же угля на различных объектах теплоэнергетической отрасли могут существенно различаться (Геохимия..., 2008). Причиной этого могут являться некачественная углеподготовка, отсутствие или недостаточно эффективное функционирование пылегазоулавливающего оборудования на менее мощных объектах теплоэнергетической отрасли, а также различия в температурных условиях сжигания угля.

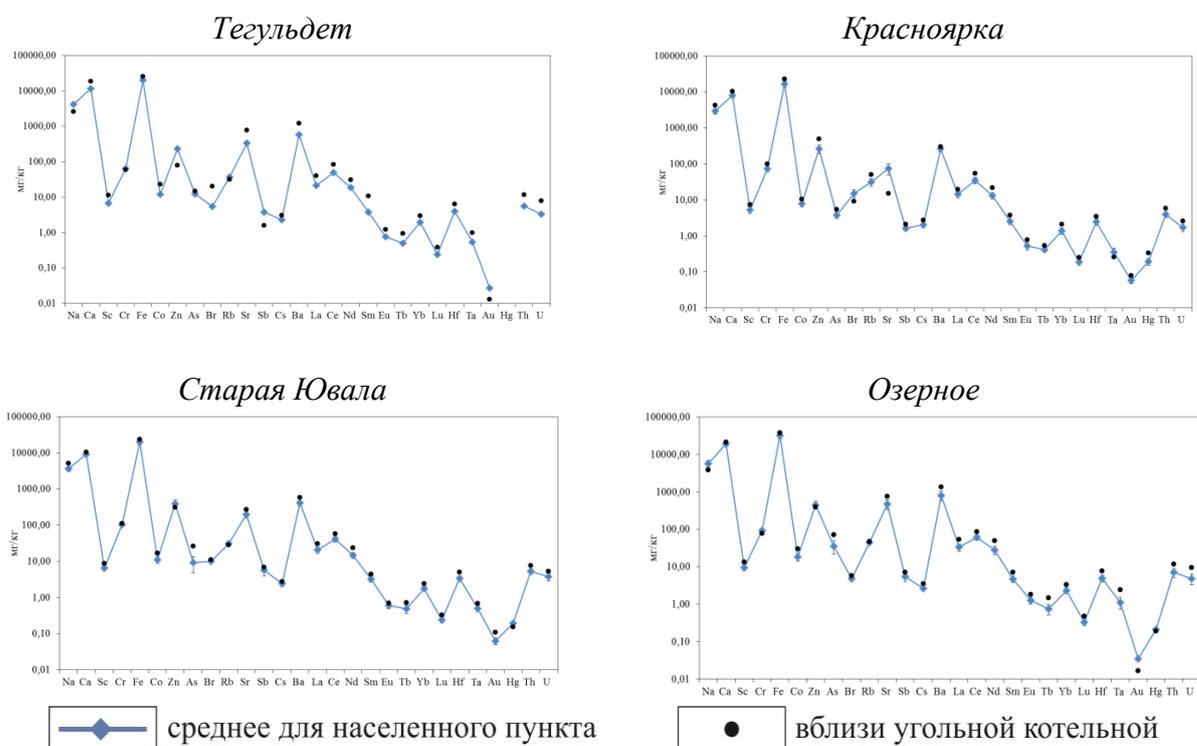


Рисунок 4.2 – Элементный состав нерастворимой фазы снега вблизи угольных котельных в сравнении со средними значениями для населенных пунктов в целом

Элементный состав нерастворимой фазы снега вблизи газовых котельных отличается более низкими концентрациями рассматриваемого спектра химических элементов в сравнении со средними уровнями их содержания для населенного пункта в целом (рисунок 4.3).

Сравнение уровней накопления химических элементов в нерастворимой фазе снега вблизи газовой и угольной котельных между собой и со средними значениями для населенного пункта

в целом (на примере г. Колпашево) позволило установить Sb, Br, Cr, Rb как индикаторные химические элементы воздействия газовой котельной, что согласуется с данными о специфичности накопления данных химических элементов в пылеаэрозолях на территориях, где осуществляется процесс сжигания газа – нефтегазодобывающие промыслы и нефтехимические производства (Языков, 2006). Для угольной котельной на примере г. Колпашево в составе нерастворимой фазы снега Na, Co, As, Ba, Ta, Hg и U были выделены как индикаторы техногенного воздействия угольной котельной (рисунок 4.3 (г)).

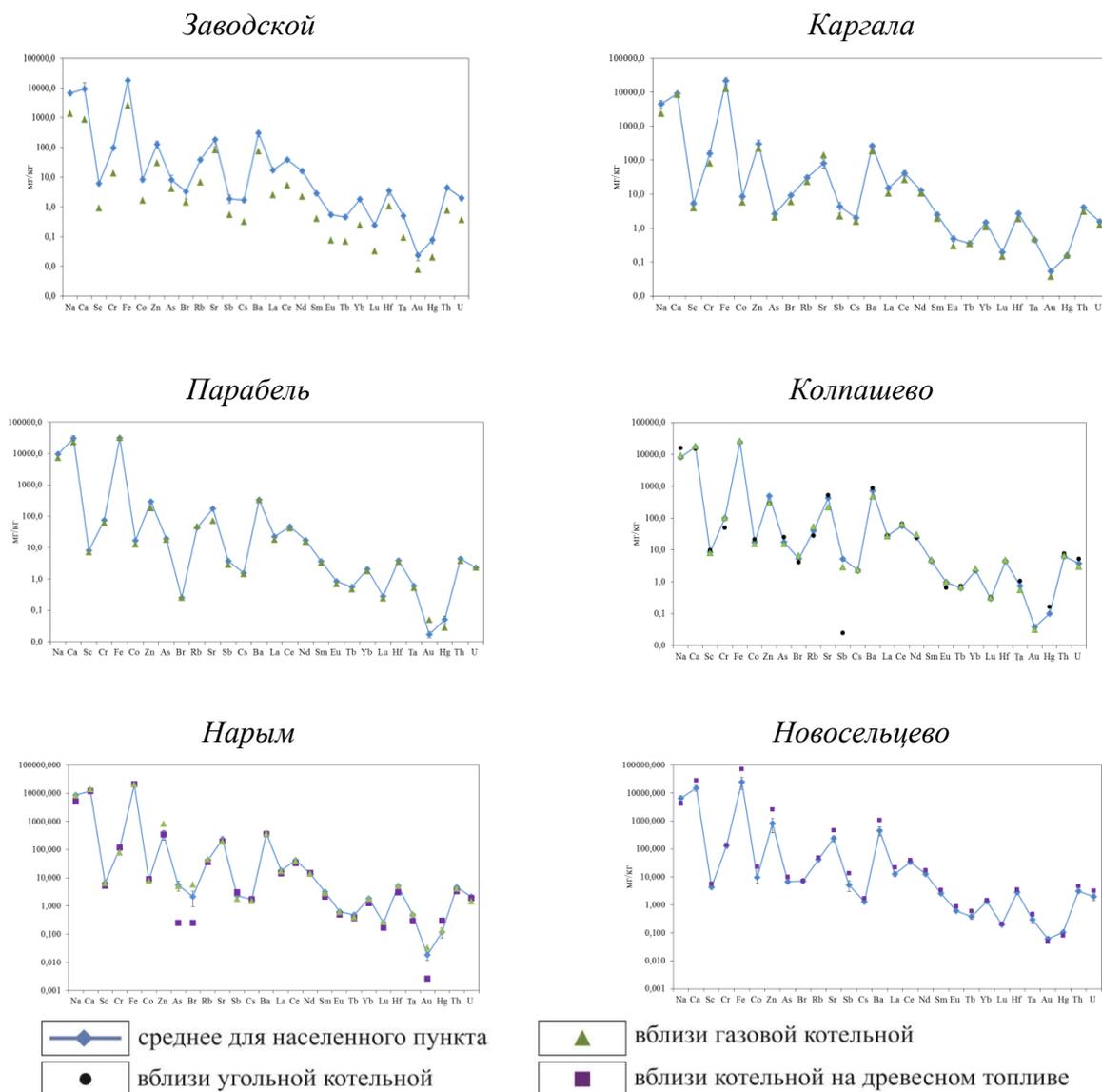


Рисунок 4.3 – Элементный состав нерастворимой фазы снега вблизи котельных (газовых, угольных и на древесном топливе) в сравнении со средними значениями для населенных пунктов в целом

Пробы нерастворимой фазы снега вблизи газовых котельных относительно проб, отобранных в окрестностях котельных на древесном топливе, отличаются повышенными концентрациями Br, As, Zn и пониженными содержаниями Hg. В свою очередь концентрации макроэлементов (Ca, Fe) и Co, Zn, Sr, Sb, Ba в пробах нерастворимой фазы снега вблизи котельной на древесном топливе характеризуются повышенными величинами в сравнении со средними концентрациями для населенного пункта в целом.

Таким образом, установлено, что угольные котельные являются основными локальными источниками поступления пылевых частиц с широким спектром химических элементов на снежный покров в населенных пунктах Томской области.

4.2 Пылевая нагрузка на снежный покров населенных пунктов Томской области

Величина пылевой нагрузки на территорию каждого из 102 изученных населенных пунктов Томской области была определена как среднее арифметическое между единичными пробами, отобранными на их территории. Диапазон значений пылевой нагрузки по единичным пробам лежит в интервале от 0,6 мг/м²·сут (с. Чажемто, Колпашевский район) до 492,1 мг/м²·сут (с. Тегульдэт, Тегульдетский район). Усреднённые величины среднесуточной пылевой нагрузки на снежный покров на территории населенных пунктов Томской области изменяются от 1,8 мг/м²·сут (с. Белояровка, Колпашевский район) до 130,7 мг/м²·сут (г. Асино, Асиновский район) при величине регионального фона 7 мг/м²·сут (Шатилов, 2001) (таблица 4.1) и соответствуют низкой степени загрязнения территории согласно (Геохимия..., 1990) (рисунок 4.4).

Распределение величины среднесуточной пылевой нагрузки на территории населенных пунктов Томской области отвечает логнормальному закону согласно расчетам теста Колмагорова-Смирнова (рисунок 4.5). Оценки числовых характеристик величины среднесуточной пылевой нагрузки на территории населенных пунктов Томской области показали смещение среднего арифметического значения относительно медианы выборки в область более высоких значений. Распределение величины среднесуточной пылевой нагрузки на территории населенных пунктов Томской области является правоасимметричным и островершинным. Ввиду такого характера распределения в качестве оценки среднего значения величины среднесуточной пылевой нагрузки на территории населенных пунктов Томской области целесообразно использовать среднее геометрическое, которое составляет 11,0 мг/м²·сут (таблица 4.1).

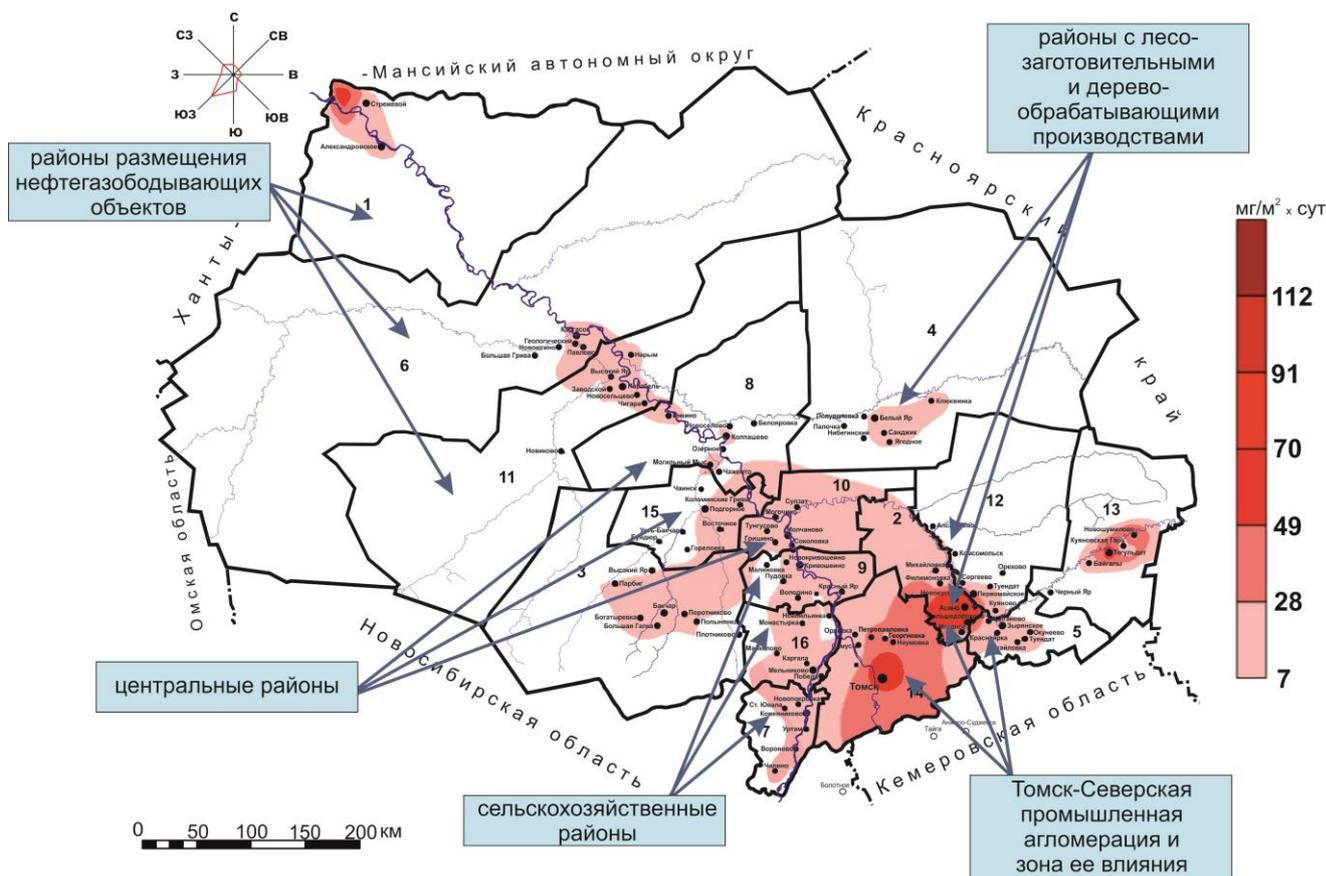


Рисунок 4.4 – Среднесуточная пылевая нагрузка на территорию населенных пунктов Томской области по данным снегового опробования (1-16 – административные районы Томской области, см. рисунок 2.1)

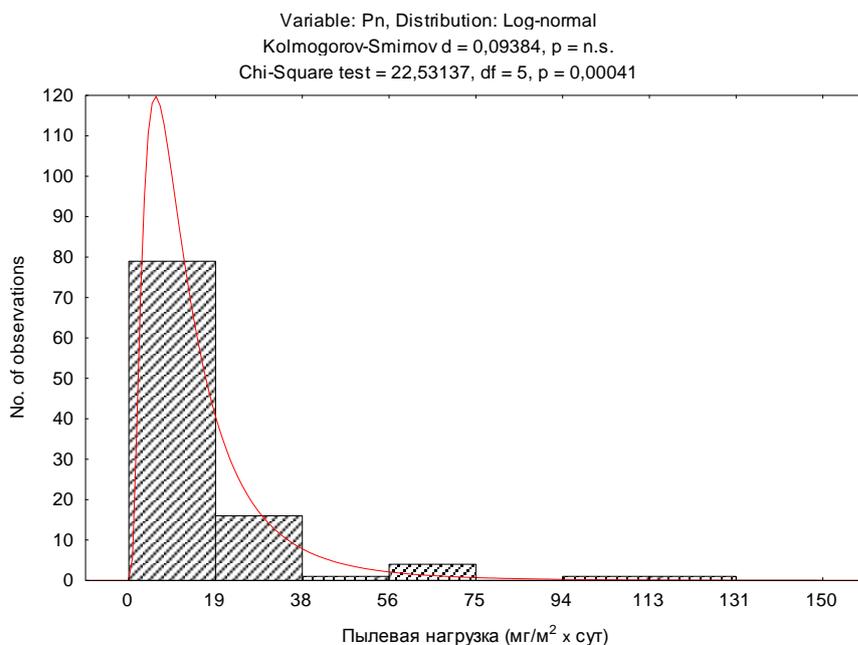


Рисунок 4.5 – Гистограмма распределения величины среднесуточной пылевой нагрузки на территорию населенных пунктов Томской области с кривой плотности логнормального распределения

Таблица 4.1 – Оценки числовых характеристик величины среднесуточной пылевой нагрузки на территории населенных пунктов Томской области

n	m	X_{med}	X_{mod}	X_{геом}	Min	Max
102	16,1	9,3	полимод.	11,0	1,8	130,7
S	δ_m	V	A	δA	E	δE
19,4	1,9	121	3,6	0,2	15,3	0,5

Примечание: n – объем выборки (количество изученных населенных пунктов Томской области), m – среднее, X_{med} – медиана, X_{mod} – мода, X_{геом} – среднее геометрическое, Min – минимум, Max – максимум, S – стандартное отклонение, δ_m – стандартная ошибка стандартного отклонения, V – коэффициент вариации, A – асимметрия, δ_A – стандартная ошибка асимметрии, E – эксцесс, δ_E – стандартная ошибка эксцесса.

Среднее значение пылевой нагрузки на территории населенных пунктов Томской области сопоставимо со среднесуточной пылевой нагрузкой на территорию Обь–Томского междуречья – 10,3 мг/м²·сут по данным А.О. Иванова (Иванов, 2006).

Структура распределения величины среднесуточной пылевой нагрузки на территорию населенных пунктов Томской области носит весьма контрастный характер, статистически это подтверждается расчетом коэффициента вариации (121%). Наиболее контрастные ореолы среднесуточной пылевой нагрузки установлены на территории Асиновского, Томского, Тегульдетского и Александровского административных районов области (рисунок 4.1).

По результатам оценки среднесуточной пылевой нагрузки на снежный покров населенных пунктов Томской области рассчитаны ее средние величины для различных секторов Томской области (таблица 4.2). Группировка районов области по секторам осуществлена с учетом их географического расположения и выполнении условий статистически незначимых ($\alpha \geq 0,100$) различий значений среднесуточной пылевой нагрузки на территории населенных пунктов внутри каждого сектора.

Среднесуточный приток атмосферной пыли на уровне близком к фоновому (7 мг/м²·сут (Шатилов, 2001)) наблюдается на территории населенных пунктов Томской области, которые располагаются в центральной части области. Это обусловлено удаленностью данных территории на расстояние в сотни километров от основных индустриализированных районов на юге и севере Томской области, а также от промышленных центров соседних регионов (Кемеровской, Новосибирской, Омской, Тюменской областей). Значения пылевой нагрузки на снежный покров, незначительно превышающие уровень регионального фона, установлены для населенных пунктов сельскохозяйственных районов и районов близких к центральной части области. Уровень среднесуточной пылевой нагрузки на территорию населенных пунктов

южных районов области в среднем составляет 2,6 фона, при этом пылевая нагрузка на территорию населенных пунктов в юго-восточном секторе области (Асиновский район) за счет наложения факторов массопереноса загрязняющих веществ от источников промышленной агломерации Томского района и локальных источников составляет 4,7 фона (высокая дисперсия значений пылевой нагрузки и высокое значение стандартной ошибки среднего обусловлены высокими уровнями пылевого загрязнения от локальных источников). Пылевая нагрузка на снежный покров населенных пунктов более удаленных районов в юго-восточном направлении от промышленной агломерации Томского района (Зырянский, Тегульдетский, Первомайский районы) соответствует установленному среднему региональному значению.

Таблица 4.2 – Среднесуточная величина пылевой нагрузки на территории населенных пунктов различных секторов Томской области

Сектор Томской области	Районы Томской области	Пылевая нагрузка, мг/м ² ·сут
Северный	Александровский, Каргасокский, Парабельский	9,9±1,5
Центральный	Бакчарский, Чаинский, Колпашевский, Верхнекетский	5,7±0,8
Юго-западный	Шегарский, Кривошеинский, Молчановский	8,5±1,0
Южный	Кожевниковский, Томский	17,9±1,6
Юго-восточный-1	Асиновский	32,7±18,6
Юго-восточный-2	Зырянский, Тегульдетский, Первомайский	10,3±2,1
Томская область		11,0±1,6

Примечание: ± – стандартная ошибка среднего

Средняя величина пылевой нагрузки на территорию населенных пунктов, расположенных в северо-восточной зоне влияния Томск-Северской промышленной агломерации (дд. Наумовка,

Георгиевка, Петропавловка, Самусь, Орловка), с 1990-х гг. (Шатилов, 2001) по 2006 г. (Таловская, 2008) и 2011-2013 гг. изменяется статистически незначимо (на основе сравнения значений среднесуточной пылевой нагрузки по непараметрическим тест-критериям Колмагорова-Смирнова и Манна-Уитни ввиду ее логнормального (2006, 2013 гг.) и нормального (1990-е, 2011 гг.) распределений (рисунок 4.6)) и в среднем составляет 30 мг/(м²·сут.) (рисунок 4.7).

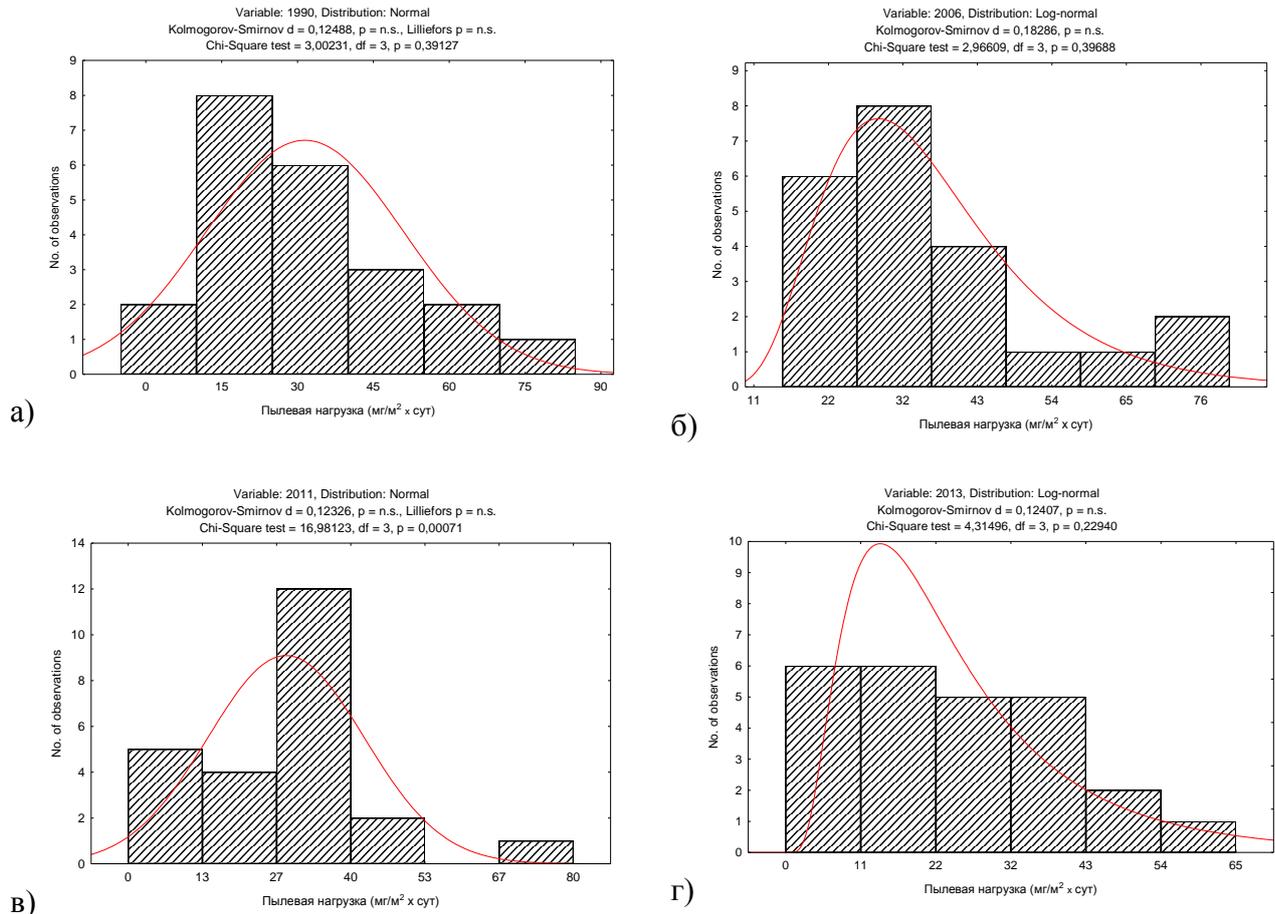


Рисунок 4.6 – Гистограммы распределения величины среднесуточной пылевой нагрузки на территории населенных пунктов Томского района в 1990-х гг. (а) (Шатилов, 2001), 2006 (б) (Таловская, 2008), 2011(в) и 2013 (г) гг. с кривыми плотностей нормального/логнормального распределения

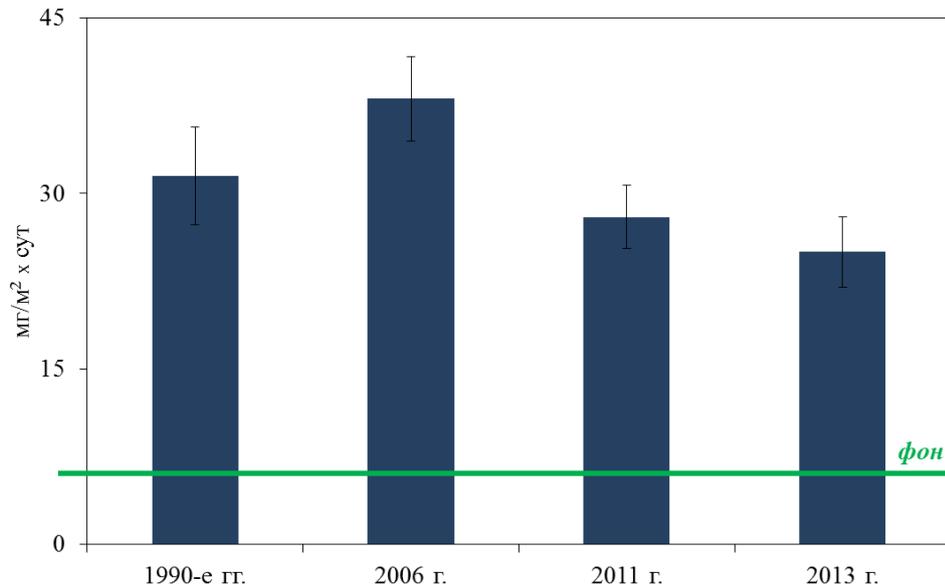


Рисунок 4.7 – Величина средней пылевой нагрузки на снежный покров населенных пунктов в северо-восточной зоне влияния Томск-Северской промышленной агломерации (фон 7 мг/(м²·сут) и данные 1900-х гг. (Шатилов, 2001), данные 2006 г. (Таловская, 2008))

Контрастный ореол среднесуточной пылевой нагрузки на снежный покров населенных пунктов на севере Томской области обусловлен влиянием от объектов нефтегазодобывающей отрасли, которые являются основными региональными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Экологический..., 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014).

Анализ величины среднесуточной пылевой нагрузки на снежный покров в окрестностях различных технологических объектов нефтяного месторождения, расположенного в Александровском районе Томской области в 30 км от г. Стрежевого, показал, что наибольшие значения данный показатель имеет вблизи факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа. Это согласуется с данными (Антонович и др., 2000; Московченко Д.В. и Бабушкин А.Г., 2012; Соловьянов, 2012; Попутный..., 2013; Яценко и др., 2014; Алтунина и др., 2014) о значительном поступлении загрязняющих веществ в атмосферный воздух на нефтедобывающих промыслах при сжигании попутного нефтяного газа, который высвобождается при сепарации сырой нефти. Так, на рассматриваемом нами нефтяном месторождении величина среднесуточной пылевой нагрузки на территории вблизи факельных установок (где снежный покров не подвержен тепловому воздействию от горения факелов) составляет от 18,7 мг/м²·сут для факела высотой 10 м («факел 1») и 588 мг/м²·сут для факела высотой 2 м («факел 2»), на удалении 50 и 15 м соответственно (рисунок 4.8). Снижение величины пылевой нагрузки по мере удаления от площадки факельной установки происходит весьма резко, и, в частности, для факела высотой 10 м пылевая нагрузка на снежный покров на удалении в 200 м сопоставима с фоновыми величинами.

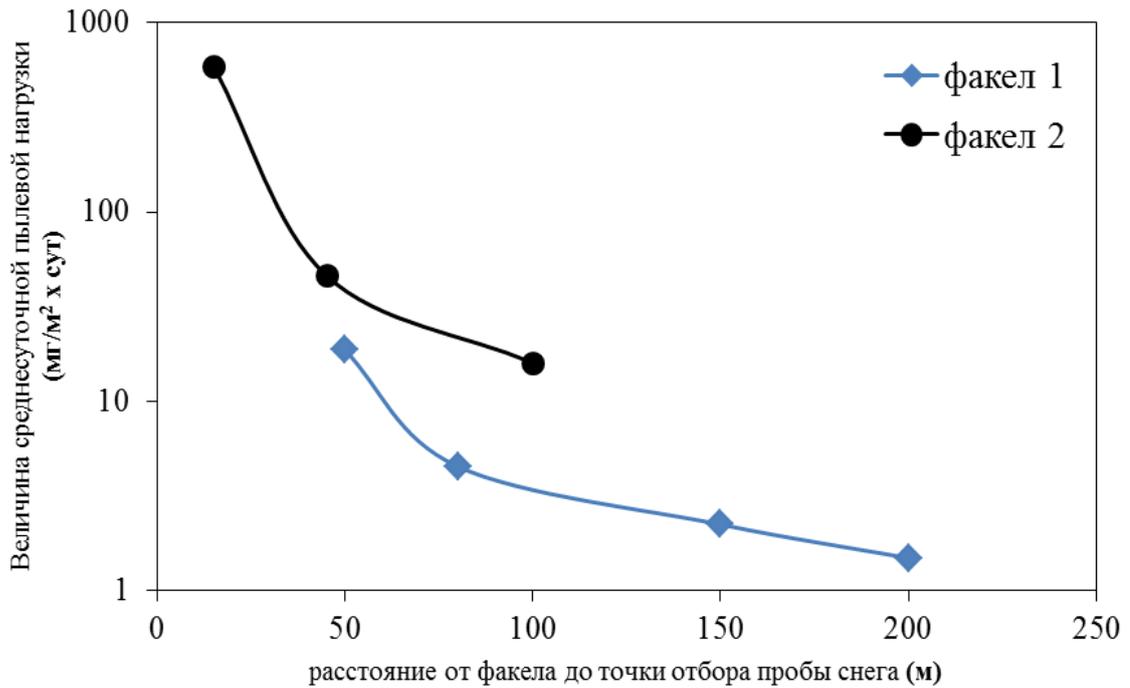


Рисунок 4.8 – Среднесуточная пылевая нагрузка на снежный покров в окрестностях факельных площадок нефтяного месторождения (Александровский район Томской области)

Среднесуточная пылевая нагрузка на снежный покров в окрестностях насосных площадок, установки подготовки нефти (без факела), центрального сборного пункта нефти рассматриваемого нефтяного месторождения соответствует фоновым величинам пылевой нагрузки для Томской области (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Величина среднесуточной пылевой нагрузки на территории Советского нефтяного месторождения (Томская область, Александровский район)

Технологический объект на территории нефтяного месторождения	Среднесуточная пылевая нагрузка, мг/м ² ·сут
Насосная площадка 1	3,2
Насосная площадка 2	2,7
Площадка установки подготовки нефти	3,0
Центральный сборный пункт	3,3
Несанкционированное место сжигания отходов	87,5

Однако среднесуточный приток пылевых частиц на снежный покров вблизи несанкционированного места сжигания отходов (тип отходов не установлен) на нефтяном месторождении превышает региональный фон в 12,5 раз и составляет 11,7 г/м², что в 5 раз

превосходит воздействие от функционирования факельной установки (по типу «факел 1») в радиусе 50 м.

4.3 Ртутная нагрузка на территории населенных пунктов Томской области

На территории населенных пунктов Томской области нерастворимая фаза снега, представляющая собой частицы атмосферной пыли, депонированные и накопленные в снежном покрове, содержит широкий спектр химических элементов, характеризующихся высокой вариабельностью их концентраций (рисунок 4.9).

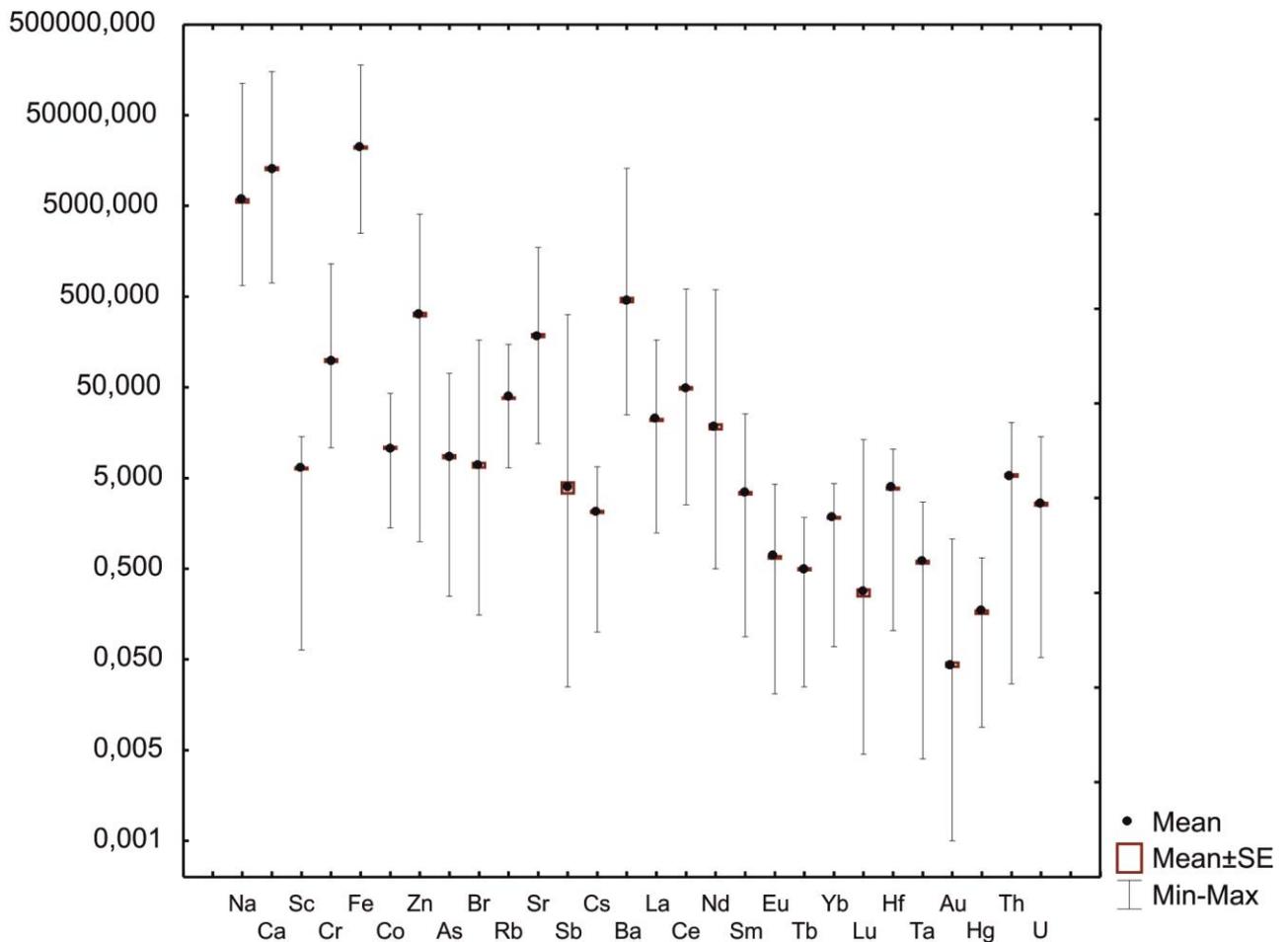


Рисунок 4.9 – Уровни содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега в населенных пунктах Томской области, мг/кг

Среди изученного спектра химических элементов наибольший интерес с позиций эколого-геохимической оценки территории населенных пунктов Томской области и оценки влияния объектов теплоэнергетической отрасли на состояние компонентов окружающей среды представляет ртуть.

Ртуть проявляет большую геохимическую индивидуальность (Иванов, 1997), а ее соединения являются высоко токсичными веществами (Янин, 1992; Clarkson, 1993; Facemire et

al., 1995; Tchounwou et al., 2003), обладающими повышенной миграционной способностью (Meili, 1991), высокой биодоступностью (Кузубова и др., 2000) ввиду чего оказывают широкий спектр негативного влияния на живые организмы (Tchounwou et al., 2003; Ефимова и др., 2007). В атмосферном воздухе ртуть находится в газовой и пылеаэрозольной фазах, при это в условиях техногенеза возрастает количество ртути в составе пылевой составляющей (Иванов, 1997).

На протяжении последних десятилетий установлено снижение технофильности ртути, что свидетельствует об осознании человечеством опасности этого металла и постепенном его выведении из производства (развитие «малортутной» промышленности и «зеленой» экономики) и технического использования (Касимов и др., 2012¹). Однако на фоне этого одним из основных источников поступления ртути в окружающую среду становятся объекты угольной теплоэнергетики (Иванов, 1997; Meij and Winkel, 2009; Расуна et al., 2010; Pirrone et al., 2010; Rallo et al., 2012; Cordoba et al., 2012¹; Cordoba et al., 2012²). Поэтому наблюдения за содержанием ртути в компонентах окружающей среды урбанизированных территорий, где функционируют объекты угольной теплоэнергетики, но нет специализированных «ртутных» производств, обоснованы высокой экотоксичностью ртути даже в весьма низких концентрациях (Янин, 1992; Гладышев, 2000).

Исследования ртутной нагрузки на урбанизированных территориях, как в нашей стране, так и в республиках бывшего Советского Союза проведены Е.П. Яниным (Янин, 1992), на территории Западно-Сибирского региона Г.Н. Аношиным (Аношин и др., 1995; Аношин и др., 2001; Маликова и др., 2011). На территории Томской области оценка ртутной нагрузки на болотные экосистемы и биологические объекты проведена Е.Е. Ляпиной (Ляпина, 2012). Исследования ртутной нагрузки, включающие изучение содержания ртути в атмосферном воздухе (Ляпина, 2012) и уровней ее накопления в твердом осадке снега проведены на территории административного центра Томской области – г. Томска (Ляпина, 2013; Таловская и др., 2012).

Концентрация ртути в нерастворимой фазе снега на территории населенных пунктов Томской области, определенная как среднее арифметическое между отобранными на их территории единичными пробами, варьируется в пределах от 0,022 мг/кг до 0,423 мг/кг при фоновой концентрации 0,057 мг/кг (Ляпина и др., 2009). Оценка числовых характеристик содержания ртути и рассчитанных эколого-геохимических критериев ртутной нагрузки на территории населенных пунктов Томской области представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. – Оценки числовых характеристик эколого-геохимических критериев ртутной нагрузки на территории населенных пунктов Томской области

Критерий	n	m	X_{med}	X_{mod}	$X_{геом}$	Min	Max	S	δ_m	V	A	δ_A	E	δE
C	73	0,153	0,136	поли	0,127	0,022	0,423	0,09	0,01	59	1,17	0,28	1,39	0,56
КК	73	2,68	2,38	поли	2,23	0,39	7,42	1,58	0,18	59	1,17	0,28	1,39	0,56
$P_{общ}$	73	2,62	1,35	поли	1,54	0,26	17,61	3,40	0,40	130	2,76	0,28	8,21	0,56
K_p	73	6,57	3,37	поли	3,86	0,64	44,13	8,52	1,00	130	2,76	0,28	8,21	0,56
K_a	73	4,62	4,12	поли	3,86	0,67	12,82	2,73	0,32	59	1,17	0,28	1,39	0,56
$\Phi_{обогащения}$	73	4,52	3,83	поли	3,86	0,82	13,10	2,54	0,30	56	1,28	0,28	2,04	0,56

Примечание: С – концентрация ртути в твердом осадке снега, КК – коэффициент концентрации относительно фона (Ляпина и др., 2009), $P_{общ}$ – среднесуточный приток ртути на снежный покров в составе нерастворимого осадка, K_p – коэффициент ртутной нагрузки, K_a – коэффициент аэрозольной аккумуляции ртути относительно кларка в гранитном слое континентальной земной коры ($K_{Hg} = 0,033$ мг/кг по А.А. Беусу (Янин, 2005), $\Phi_{обогащения}$ – фактор обогащения (C_{Hg} земная кора = 0,083 мг/кг, C_{Sc} земная кора = 15 мг/кг (Григорьев, 2003); n – объем выборки, m – среднее, X_{med} – медиана, X_{mod} – мода, $X_{геом}$ – среднее геометрическое, Min – минимум, Max – максимум, S – стандартное отклонение, δ_m – стандартная ошибка стандартного отклонения, V – коэффициент вариации, A – асимметрия, δ_A – стандартная ошибка асимметрии, E – эксцесс, δ_E – стандартная ошибка эксцесса.

Анализ расчета статистических критериев (Колмогорова-Смирнова, Лилефорса и Хи-квадрат теста) для выборки содержания ртути в нерастворимой фазе снега на территории населённых пунктов Томской области (рисунок 4.10) и параметров числовых характеристик данной выборки позволил установить, что характер распределения содержания ртути нерастворимой фазе снега соответствует нормальному закону распределения. Таким образом, в качестве оценки среднего содержания ртути в нерастворимой фазе снега в населенных пунктах Томской области принято значение 0,153 мг/кг.

Наибольшие концентрации ртути в нерастворимой фазе снега установлены в населенных пунктах Томской области, расположенных в северо-восточном секторе относительно Томск-Северской промышленной агломерации (рисунок 4.11): Георгиевка – 0,423 мг/кг, Петропавловка – 0,400 мг/кг, Наумовка – 0,392 мг/кг, Орловка 0,360 мг/кг и Самусь 0,304 мг/кг. Установленные концентрации превосходят в 5,3 – 7,4 раз фоновые величины (0,057 мг/кг (Ляпина и др., 2009)), в 2,0 – 2,8 раза среднее содержание ртути в нерастворимой фазе снега в населенных пунктах Томской области и сопоставимы со средним содержание ртути в твердом осадке снега на территории г. Томска (0,34 мг/кг (Таловская и др., 2012)).

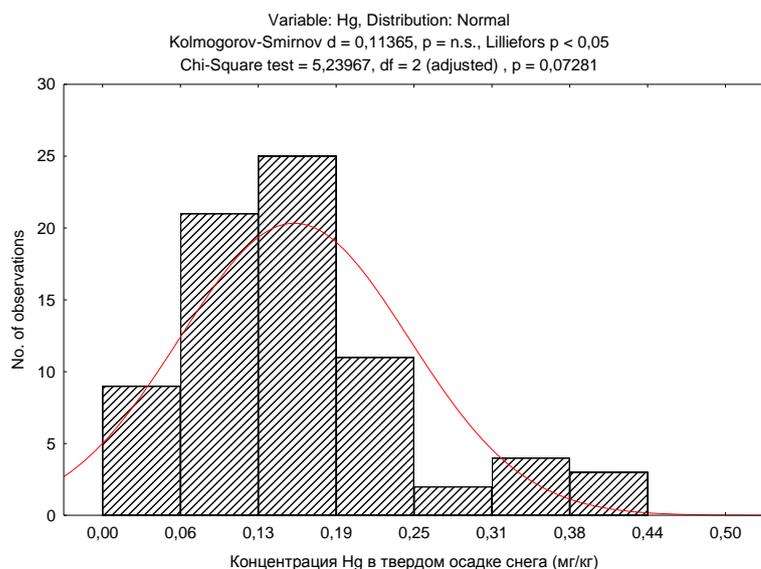


Рисунок 4.10 – Гистограмма распределения содержания ртути в нерастворимой фазе снега населенных пунктов Томской области с кривой плотности нормального распределения

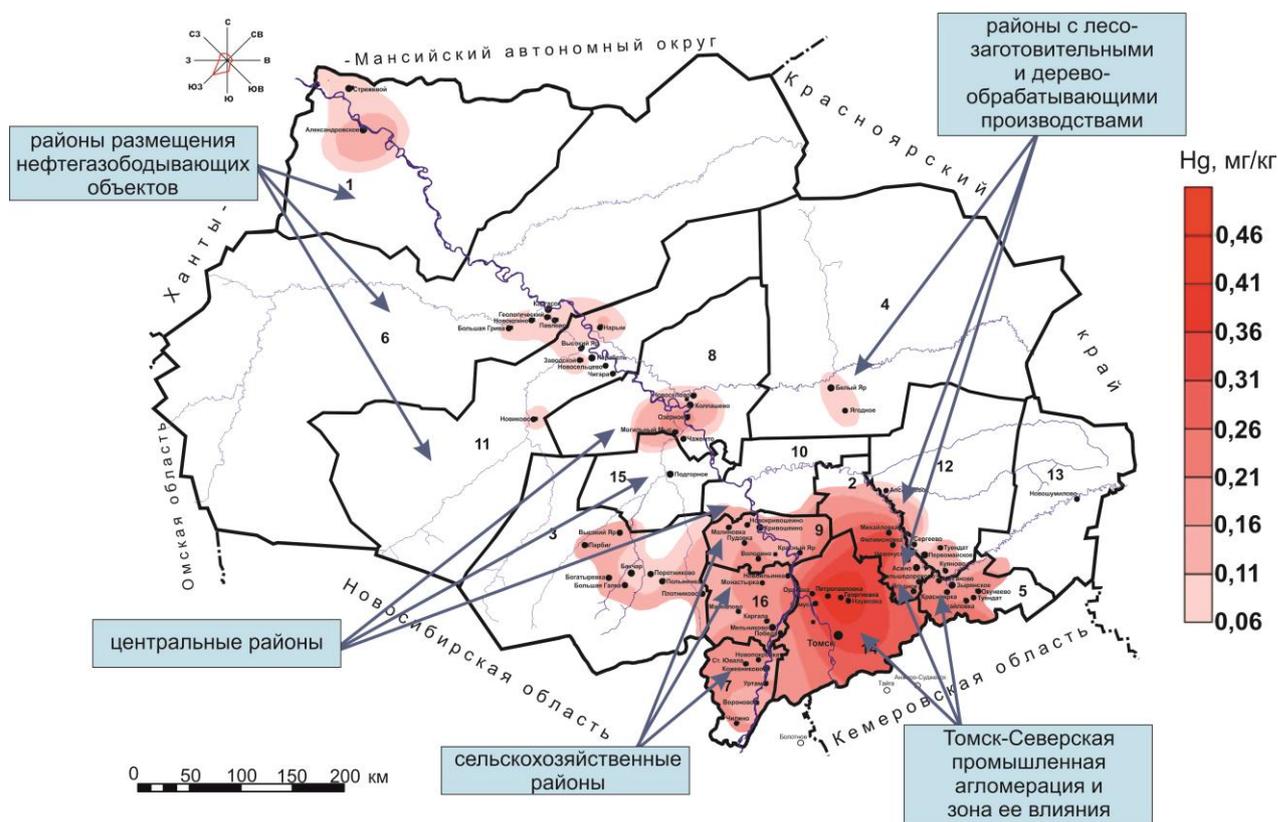


Рисунок 4.11 – Содержание ртути в нерастворимой фазе снега на территории населенных пунктов Томской области

В пробах нерастворимой фазы снега в населенных пунктах, удаленных от промышленной агломерации Томского района на расстояние до 150 км в западном направлении (Кожевниковский, Шегарский и Кривошеинский районы; наветренная сторона относительно

Томск-Северской промышленной агломерации), уровни концентрации ртути характеризуются достаточно однородными величинами и составляют от 2,3 до 3,9 фоновых показателей. При удалении в том же направлении на 150 – 270 км концентрация ртути в пробах нерастворимой фазы снега составляет от 1,3 до 2,4 фонов. Содержания ртути в нерастворимой фазе снега на уровне до 4,0 фоновых показателей установлены в пробах из населенных пунктов, расположенных в радиусе до 100 км в восточном направлении от Томск-Северской промышленной агломерации (населенные пункты на юге Асиновского и западе Зырянского района).

Характер пространственного распределения содержания ртути в нерастворимой фазе снега на территории населенных пунктов Бакчарского, Кожевниковского, а также Томского и Зырянского районов позволяет предположить, что одним из возможных источников поступления ртути на территорию Томской области является трансграничный перенос загрязнения от источников с территории соседних регионов (Новосибирской и Кемеровской областей). Так, на территории промплощадки Новосибирского завода химконцентратов имеются ртутные аномалии в почвах, концентрация ртути в эпицентрах которых достигает 400 – 700 г/т (Владимиров и др., 2012) при ПДК 2,1 г/т. Основным механизмом переноса ртути на территории завода химконцентратов установлен механический, однако динамика приповерхностных процессов в системе «почва – воздух» до конца не выяснена (Владимиров и др., 2012), в силу чего не исключен вынос мелкодисперсного материала с повышенными содержаниями ртути воздушными потоками с участков почвенных ртутных аномалий.

Населенные пункты, расположенные в центральной части Томской области, характеризуются наименьшими концентрациями ртути в нерастворимой фазе снега – от 0,022 до 0,120 мг/кг. Это обусловлено как удаленным расположением данных территорий от промышленно-индустриализированных центров Томского и соседних регионов, так и отсутствием локальных значительных источников эмиссии загрязняющих веществ, в том числе и соединений ртути, в первую очередь – большого количества угольных котельных, по сравнению с их количеством на территории южных районов Томской области. Однако концентрации ртути в нерастворимой фазе снега в нескольких населенных пунктах центральной части Томской области (сс. Могильный мыс, Озерное) составляют 3,6 – 3,7 фонов, тогда как концентрации ртути в пробах из населенных пунктов, расположенных рядом с ними, характеризуются более низкими значениями (0,6–1,9 фонов). Возможной причиной повышенных концентраций ртути может быть миграция подвижных флюидов с глубинных горизонтов по зонам тектонической проницаемости, в районе расположения указанных населенных пунктов (Назаров, 2004). В результате этих процессов в снежном покрове могут в

некоторой степени отражаться геохимические аномалии, носящие эндогенный характер (Соболев, 2013).

На территории населенных пунктов Александровского района Томской области – с. Александровское и г. Стрежевой, концентрация ртути в нерастворимой фазе снега составляет 0,129 и 0,074 мг/кг соответственно. Более низкие содержания ртути в пробах нерастворимой фазе снега в г. Стрежевой связаны с приоритетным использованием природного газа на теплоэнергетических объектах города, тогда как на территории с. Александровского функционируют локальные котельные, частично использующие мазутное топливо, преобладает частный сектор, использующий собственные древесные энергоресурсы для обогрева жилищного фонда, а также осуществляет производственную деятельность нефтеперерабатывающих завод.

По величине ртутной нагрузки на территории населенных пунктов Томской области установлены два наиболее контрастных ореола (рисунок 4.12).

Один из данных ореолов охватывает территории населенных пунктов, расположенных в северо-восточном секторе относительно Томск-Северской промышленной агломерации (дд. Наумовка, Георгиевка, Петропавловка), а второй приходится на территорию г. Асино и близ расположенные населенные пункты (дд. Большедорохово, Новокусково). При этом коэффициент ртутной нагрузки ($K_{\text{P}_{\text{Hg}}}$), характеризующий величину ее превышения над фоновыми значениями, в эпицентрах данных ореолов составляет 44,1 и 40,6 единиц соответственно (таблица 4.5).

Ввиду соответствия характера распределения величины среднесуточного притока ртути в составе нерастворимого осадка снега на снежный покров населенных пунктов Томской области логнормальному закону (рисунок 4.13, таблица 4.4) согласно расчетам числовых характеристик выборки в качестве среднего значения ртутной нагрузки принята величина $1,54 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$.

Величина среднесуточной ртутной нагрузки на территорию населенных пунктов сельскохозяйственных районов Томской области (Кожевниковский, Шегарский, Кривошеинский) превышает фон ($0,399 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$) в 5 раз. Ранее на территории данных районов Томской области было установлено повышенное содержание ртути в волосах детей (Наркович, 2012). Вероятным источником данных повышенных значений может быть использование удобрений. Так, Гратц и Килер (Gratz and Keeler, 2011) установили возможность поступления в атмосферный воздух и осадения с атмосферными осадками ртути совместно с калием и фосфором в результате использования удобрений на территории запада центральной части США, однако в их исследованиях не исключалась вероятность поступления Hg, K и P от сжигания биомассы.

Большинство населенных пунктов, расположенных в северной части Томской области на территории Парабельского (Чигара, Новосельцево, Парабель, Заводской, Высокий Яр) и Каргасокского (Каргасок, Павлово, Новоюгино) районов характеризуются ртутной нагрузкой от 0,025 до 0,077 мг/км²·сут, что ниже фонового уровня.

Ртутная нагрузка, установленная по данным снеговой съемки, на территории населенных пунктов Александровского района (Александровское, г. Стрежевой) и нефтяного месторождения превосходит фоновые величины в 3,4 – 4,1 раза, вероятнее всего за счет влияния нефтедобывающих промыслов, которые представляют собой источники эмиссии ртути, так как установлено, что вблизи факельных установок ртутная нагрузка на снежный покров составляет от 1,55 до 9,41 мг/км²·сут, т.е. 3,9 – 23,6 фонов.

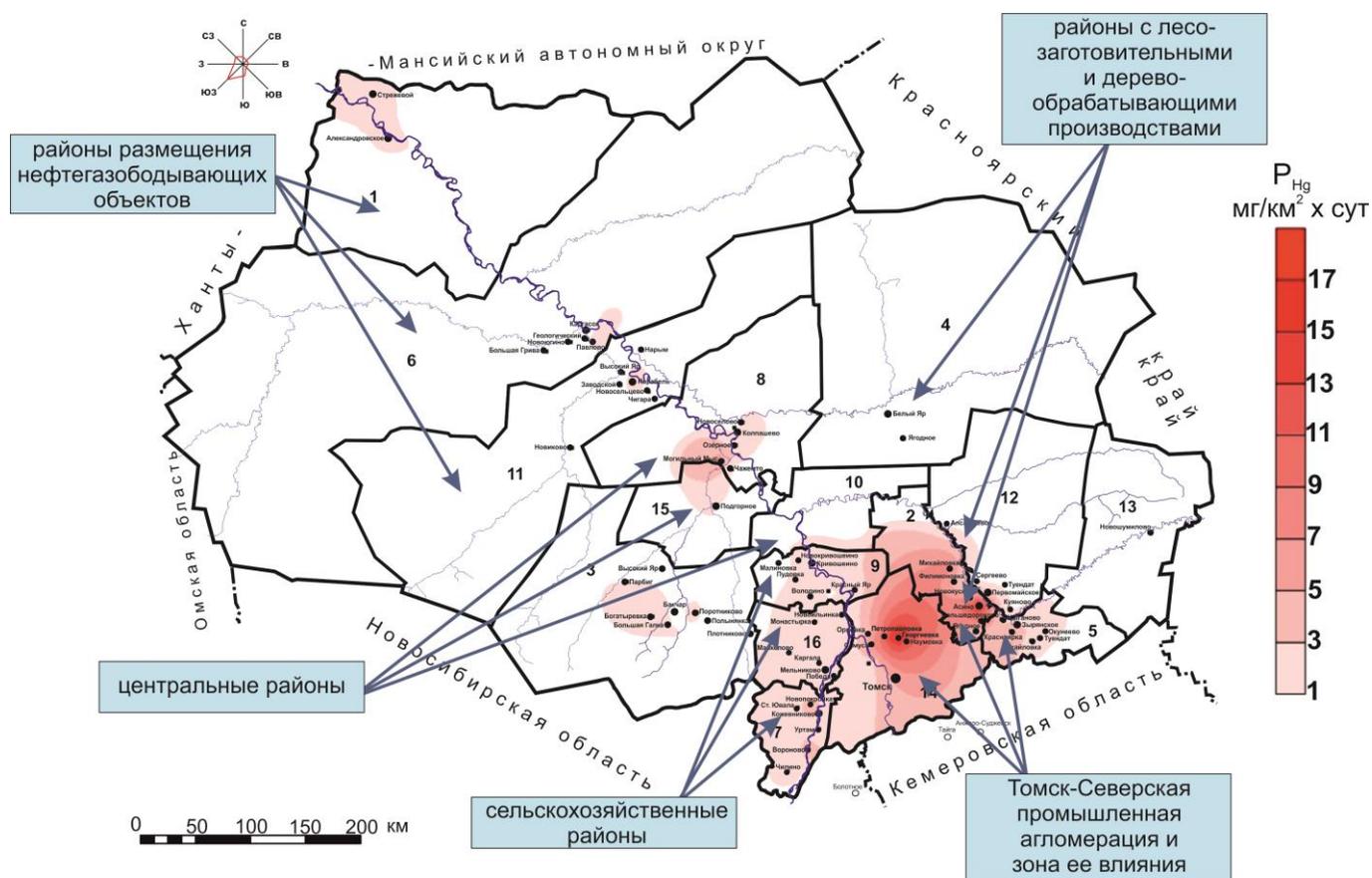


Рисунок 4.12 – Ртутная нагрузка на территорию населенных пунктов Томской области

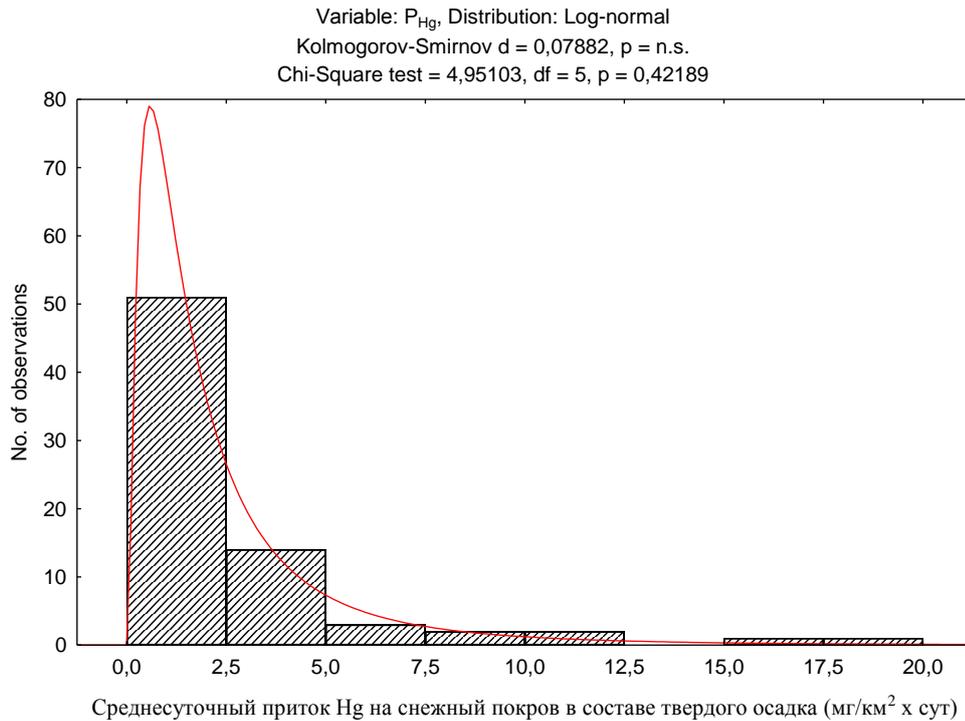


Рисунок 4.13 – Гистограмма распределения величины ртутной нагрузки на территории населенных пунктов Томской области с кривой плотности логнормального распределения

Значения коэффициентов аэрозольной аккумуляции ртути составляют от 1,1 до 12,8 единиц. Это указывает на значительное концентрирование ртути на частицах пылевых аэрозолей, в последствии оседающих и накапливающихся в снежном покрове, по сравнению с гранитным слоем литосферы, что может быть обусловлено рядом причин. По литературным данным (Добровольский, 2003) такое поведение ртути может быть связано и с составом исходного материала, формирующего пылевой аэрозоль, если атмосферная пыль, привносимая от природных источников, изначально была обогащена ртутью. Однако расчет фактор обогащения показал, что пылевые аэрозоли в населенных пунктах Томской области заметно обогащены ртутью (от 1,1 до 13,1 раз) за счет вклада антропогенных источников (таблица 4.5). Поэтому вероятной причиной высокой аэрозольной аккумуляции ртути, поступающей в атмосферу в основном в парогазовой форме (Edgerton et al., 2006), является ее сорбция на частицах атмосферной пыли в результате фотохимических реакций; при этом наиболее интенсивно процесс сорбции протекает на мелкодисперсных частицах пылевых аэрозолей (Добровольский, 2003).

Таблица 4.5 – Коэффициент аэрозольной аккумуляции (K_{aa}) и фактор обогащения ($\Phi_{об}$) ртути в нерастворимой фазе снега в населенных пунктах Томской области

Район	Населенный пункт	K_{aa}	$\Phi_{об}$	Район	Населенный пункт	K_{aa}	$\Phi_{об}$	Район	Населенный пункт	K_{aa}	$\Phi_{об}$
Александровский	Советское нефтяное месторождение	1,9	7,8	Каргасокский	Павлово	2,09	1,85	Парабельский	Чигара	0,77	0,82
	Стрежевой	2,24	3,43		Геологический	2,29	2,25		Новосельцево	0,98	11,57
	Александровское	3,91	13,10		Большая Грива	3,02	2,67		Парабель	1,57	1,27
Асиновский	Асино	5,16	3,50		Новоюгино	1,64	2,13		Новиково	2,04	2,59
	Больше-Дорохово	4,64	3,55		Каргасок	1,36	1,38		Заводской	2,34	2,97
	Ягодное	6,91	5,24	Кожениковский	Вороново	3,97	3,19	Нарым	3,64	3,65	
	Михайловское	9,63	11,22		Уртам	5,22	4,07	Высокий Яр	1,42	1,93	
	Филимоновка	10,69	10,16		Чилино	5,09	5,19	II	Новошумилово	0,67	1,17
	Новокусово	4,87	4,18	Старая Ювала	5,84	6,15	Первомайский		Апсагачево	2,42	3,98
	Бакчарский	Высокий Яр	4,11	2,89	Новопокровка	6,15		5,49	Сергеево	2,79	3,39
Парбиг		3,95	3,75	Кожениково	3,89	3,34		Певомайское	3,34	3,13	
Бакчар		2,26	2,14	Колпашевский	Тогур	2,40		2,81	Куяново	4,12	5,43
Богатыревка		3,89	3,52		Новоселово	3,20		3,76	Туендат	3,76	5,79
Большая Галка		3,68	2,73		Чажемто	0,96	0,83	Томский	Орловка	10,90	7,17
Полынянка		3,38	2,96		Могильный мыс	6,22	3,25		Самусь	9,21	6,17
Поротниково		2,27	1,67		Озерное	6,34	3,05		Наумовка	11,89	5,98
I	Ягодный	3,2	11,1		Колпашево	3,05	2,00		Петропавловка	12,12	6,14
	Белый Яр	2,9	2,6		Кривошеино	4,52	4,61		Георгиевка	12,82	6,78
Зырянский	Михайловка	6,48	7,29	Кривошеинский	Малиновка	3,94	3,83	Поросино	8,98	5,19	
	Окунеево	6,59	6,41		Красный яр	4,81	5,33	III	Подгорное	1,3	1,5
	Красноярка	5,98	7,01		Пудовка	4,86	6,19		Шегарский	Ново-Ильинка	5,77
	Туендат	5,53	5,64		Ново-Кривошеино	4,87	3,68	Каргала		4,70	6,80
	Цыганово	5,56	4,87		Володино	5,43	5,51	Мельниково		6,68	5,33
	Зырянка	4,12	3,01		Рыбалово	4,12	6,21	Монастырка		6,05	6,65
								Маркелово		4,72	4,43
						Победа	5,21	4,05			

Примечание: I – Верхнекетский, II – Тегульдетский, III – Чаинский

5 ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ТОМСКОЙ ГРЭС-2 ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ НЕРАСТВОРИМОЙ И РАСТВОРИМОЙ ФАЗ СНЕГА

5.1 Пылевая нагрузка на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2

По данным площадной снеговой съемки (Таловская, 2008) и данным ежегодных мониторингов снежного покрова, проводимых ОГБУ «Облкомприрода» на территории г. Томска (<http://www.green.tsu.ru/>, 2015), установлено, что один из наиболее контрастных ореолов по величине притока атмосферной пыли на снег расположен вблизи объекта теплоэнергетической отрасли города – Томской ГРЭС-2. В точках, наиболее близко расположенных к производственной площадке Томской ГРЭС-2, по данным мониторинга ОГБУ «Облкомприрода» зафиксированы повышенные плотности выпадения Zn, Pb, Cu и бенз(а)пирена на снежный покров в сравнении с другими территориями г. Томска (<http://www.green.tsu.ru/>, 2015). Однако в связи с прохождением через данный участок городской территории крупных автомагистралей однозначная идентификация источников выбросов данных химических элементов и веществ на основании данных снеговых съемок ОГБУ «Облкомприрода» затруднена.

Для решения задачи по установлению типоморфных химических элементов, поступающих в окружающую среду с выбросами от конкретных высотных источников, в практике эколого-геохимических исследований наиболее успешно применяемым методом является маршрутная съемка по векторам массопереноса загрязнения (Рапута, 2009; Зеркаль и др., 2012).

По результатам векторного отбора проб снега в северо-восточном направлении от дымовых труб Томской ГРЭС-2 установлено, что в период с 2009 по 2011 гг. наибольшая степень загрязнения снежного покрова нерастворимыми частицами депонированной атмосферной пыли находится на удалении 1,0 км от высотного источника выбросов (рисунок 5.1). Наибольшие величины притока атмосферной пыли на снежный покров, наблюдаемые на удалении 0,73 – 1,0 км от труб Томской ГРЭС-2, вероятно, обусловлены процессами вымывания выбрасываемых мелких твердых частиц ледяной крупой, образующейся при замерзании водяного пара в дымовой струе теплоэлектростанции. Данный эффект был исследован и подтвержден на примере угольной теплоэлектростанции г. Кызыла (Беляев и др., 1997). В связи с этим явлением большая часть пылевых выбросов в зимнее время может осаждаться на довольно близких расстояниях от теплоэлектростанции, несмотря на значительную высоту труб.

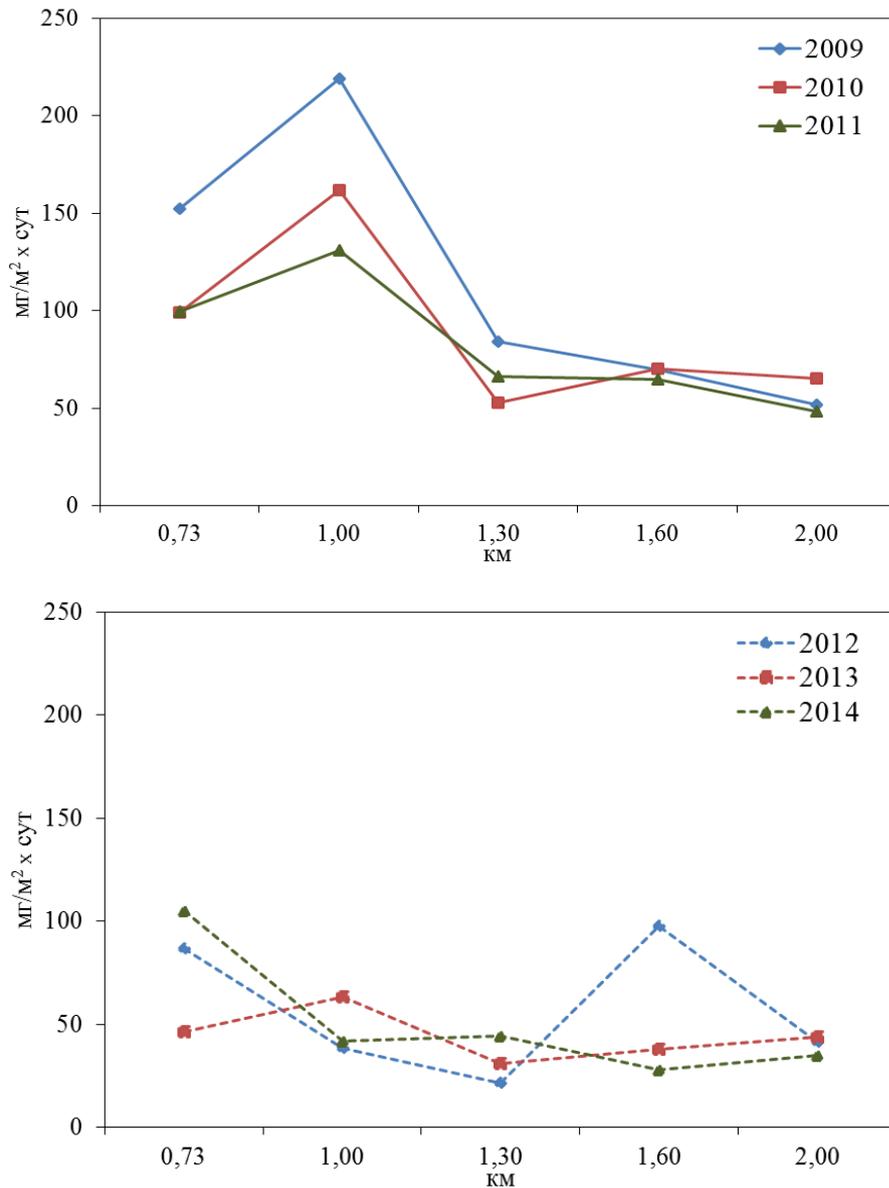


Рисунок 5.1 – Динамика величины пылевой нагрузки на снежный покров в северо-восточном направлении от Томской ГРЭС-2 (по оси абсцисс указано расстояние от труб Томской ГРЭС-2 до точки отбора пробы снега)

Результаты численного восстановления данных притока атмосферной пыли на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 по северо-восточному вектору за период с 2009 по 2011 гг. с использованием монодисперсной модели реконструкции полей выпадения загрязняющих веществ от стационарных источников, выполненные совместно с учеными ИВМиМГ СО РАН (Рапута В.Ф., д.ф.-м.н., профессор), представлены на рисунке 5.2 (Таловская и др., 2013). Между экспериментальными и модельными данными отмечается весьма удовлетворительная сходимость; это является доказательством, что теплоэлектростанция является приоритетным источником пылевого загрязнения снежного покрова на данной территории г. Томска (центральная часть города).

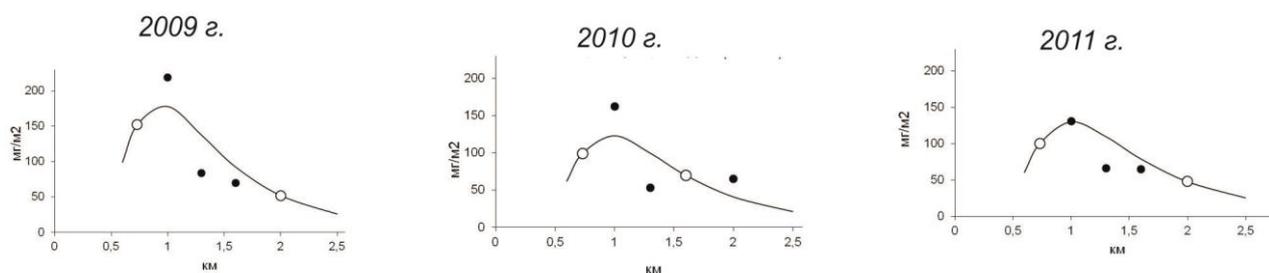


Рисунок 5.2 – Численно восстановленные по данным наблюдений поля выпадения атмосферной пыли на снежный покров на маршруте отбора проб от Томской ГРЭС-2

— - результат численного моделирования, ○, ● - опорные и контрольные точки измерений (Таловская и др., 2013)

Мониторинг величины пылевой нагрузки на снежный покров в направлении северо-восточного вектора от труб Томской ГРЭС-2 с 2012 по 2014 гг. показал резкое изменение характера ее распределения (рисунок 5.1) в сравнении с предыдущим периодом проведения мониторинга (2009-2011 гг.). Данные изменения могут быть обусловлены рядом факторов. Во-первых, это проведенная в 2010-2011 гг. реконструкция пылегазоулавливающего оборудования на теплоэлектростанции, позволившая повысить эффективность очистки отходящих газов. Во-вторых, ввиду изменения метеорологических параметров: в зимние сезоны (с ноября по март) 2012/13 и 2013/14 гг. сократилась доля юго-западных ветров в сравнении с предыдущими зимними сезонами проведения мониторинга на 23% и 31% соответственно, при этом возросла повторяемость южных ветров до 27% и 51% соответственно. Это, вероятно, оказало влияние на изменение основного направления массопереноса загрязняющих веществ от Томской ГРЭС-2. Кроме этого, установленные различия в количествах осадков между зимними сезонами (наименьшее количество осадков – зимний сезон 2011/12 гг., наибольшее – 2012/13 гг.), на протяжении которых проводились мониторинговые работы. Согласно литературным данным (Довгалюк, 1998) в климатических условиях умеренных широт вклад «сухого» осаждения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха составляет примерно 10 – 20%, тогда как основная часть примесей удаляется из атмосферы осадками и за счет процессов рассеивания. В связи с этим различия уровней выпадения осадков с высокой долей вероятности могли оказать влияние на соотношение процессов «сухого» и «влажного» вымывания загрязняющих веществ из атмосферы и, соответственно, на уровень их накопления в снежном покрове в окрестностях Томской ГРЭС-2. В-третьих, вероятной причиной повышенной пылевой нагрузки на снежный покров в 2012 г. на удалении 1,6 км от труб Томской ГРЭС-2 могут быть факторы загрязнения атмосферного воздуха и соответственно снежного покрова, связанные с выбросами автотранспорта. Так как именно в данный период происходило временное изменение

транспортных схем движения в восточной части г. Томска в виду чего данный пункт мониторинга снежного покрова оказался в зоне интенсивного влияния части новой автотрассы.

На основе установленного характера распределения величины пылевой нагрузки на снежный покров по мере удаления от труб Томской ГРЭС-2 были выделены условно ближняя (до 1,0 км) и условно дальняя (1,0 – 2,0 км) зоны влияния теплоэлектростанции. Артамоновой С.Ю. с соавторами (Артамонова и др., 2007) были установлены размеры ближних зон воздействия промышленных предприятий г. Новосибирска – Оловокомбината, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 и ТЭЦ-5, от 0,5 до 1,5 км от высотных труб, что является сопоставимым с нашими данными. Уровень пылевой нагрузки на снежный покров в условно ближней зоне влияния Томской ГРЭС-2 в 1,5 – 2,7 раза выше аналогичного показателя в условно дальней зоне. В сравнении с фоновыми значениями пылевой нагрузки для Томского региона ($7 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ (Шатилов, 2001)) в условно ближней зоне влияния теплоэлектростанции в период с 2009 по 2014 гг. наблюдается их превышение в 7,8 – 26,5 раз, а в условно дальней – в 5,1 – 9,8 раза. Тогда как в соответствии с нормативной градацией (Геохимия..., 1990) уровень запыленности снежного покрова во всех точках на всем рассматриваемом северо-восточном векторе от труб Томской ГРЭС-2 соответствует низкой степени загрязнения территории (менее $250 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$). Динамика усредненных значений величины пылевой нагрузки по направлению северо-восточного вектора от труб Томской ГРЭС-2 с 2009 по 2014 гг. имеет устойчивую тенденцию снижения (таблица 5.1).

Данные сопоставления пылевой нагрузки в окрестностях Томской ГРЭС-2 с аналогичными величинами в окрестностях предприятий, являющимися наравне с теплоэлектростанцией одними из приоритетных источников загрязнения атмосферного воздуха в г. Томске (Таловская, 2008) – нефтехимический завод и кирпичные заводы, представлены в таблице 5.1. Таким образом, данные мониторинга подтверждают результаты предыдущих исследований (Таловская, 2008) о том, что наиболее контрастный ореол пылевого загрязнения снежного покрова на территории города формируется в окрестностях кирпичных заводов. Величины пылевой нагрузки по векторному маршруту опробования снежного покрова в северо-восточном направлении в зоне влияния кирпичных заводов превышают региональный фон ($7 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ (Шатилов, 2001)) в 30,5 – 52,1 раза и в целом соответствуют средней степени загрязнения территории согласно нормативной градации (Геохимия..., 1990). В период с 2009 по 2014 гг. среднесуточная пылевая нагрузка на снежный покров в окрестностях кирпичных заводов в 3,0 – 7,5 раз выше аналогичного показателя в окрестностях Томской ГРЭС-2. Значения пылевой нагрузки на снежный покров вблизи нефтехимического завода, усредненные по вектору отбора проб снега за каждый зимний сезон с 2009 по 2014 гг., превышают

региональный от 5,6 до 10,3 раз и сопоставимы с уровнем пылевой нагрузки в зоне влияния Томской ГРЭС-2.

Таблица 5.1 – Среднесуточная пылевая нагрузка на территории в окрестностях промышленных предприятий г. Томска, $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$

Год	Промышленное предприятие		
	Томская ГРЭС-2	Кирпичные заводы	Томскнефтехим
2009	115±3	365±91	65±7
2010	90±21	355±114	67±12
2011	82±14	244±57	72±7
2012	57±16	233±116	46±5
2013	44±6	333±65	39±7
2014	51±15	213±56	52±3

Примечание: ± – стандартная ошибка среднего

Результаты сравнения средней величины среднесуточной пылевой нагрузки на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 с 2009 по 2014 гг. с аналогичными величинами в окрестностях других теплоэлектростанций представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Среднесуточная пылевая нагрузка (P_n) на снежный покров в окрестностях различных теплоэлектростанций

Тепло-электростанция	Примечание	P_n , $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$	Источник информации
Томская ГРЭС-2	2009 – 2014 (уголь, газ)	73±8	
Кызылская ТЭЦ	2008 – 2010 (уголь)	от 119,3 до 466,9	Кара-Сал, 2014
ТЭЦ-3, г. Караганда	2014	от 382 до 1426	Адильбаева, 2014
ТЭЦ-2, г. Новосибирск	2005 – 2006 (Кузбасский уголь, мазут)	118	Артамонова и др., 2007
ТЭЦ-3, г. Новосибирск		143	
ТЭЦ-5, г. Новосибирск		83	

5.2 Геохимическая характеристика нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2

Числовые характеристики содержаний химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 по данным мониторинга с 2009 по 2014 гг. представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оценки числовых характеристик содержаний химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 (2009 – 2014 гг.) (n=30)

Химический элемент	m	X _{med}	X _{геом}	Min	Max	S	δm	V	A	δA	E	δE
Натрий (Na)	0,7	0,7	0,7	0,3	1,0	0,1	0,02	19	-0,4	0,4	2,2	0,8
Кальций (Ca)	1,5	1,5	1,5	0,8	3,3	0,5	0,1	29	1,8	0,4	6,9	0,8
Скандий (Sc)	10,3	11,0	10,1	5,3	13,6	1,9	0,4	19	-0,9	0,4	0,5	0,8
Хром (Cr)	96	96	94	62	152	22	4	23	1,0	0,4	1,5	0,8
Железо (Fe)	4,1	3,7	3,8	1,8	16,5	2,4	0,4	60	4,7	0,4	24,5	0,8
Кобальт (Co)	18,5	18,7	18,0	7,5	25,1	4,1	0,7	22	-0,7	0,4	0,5	0,8
Цинк (Zn)	994	691	675	14	3248	904	165	91	1,7	0,4	2,0	0,8
Мышьяк (As)	14,7	13,5	13,0	3,7	27,2	6,8	1,2	46	0,3	0,4	-1,1	0,8
Бром (Br)	5,1	5,1	4,5	1,7	10,4	2,3	0,4	45	0,3	0,4	-0,2	0,8
Рубидий (Rb)	50,0	51,1	46,6	3,5	72,4	11,9	2,2	24	-1,9	0,4	7,5	0,8
Стронций (Sr)	406	381	384	190	911	144	26	35	1,4	0,4	3,9	0,8
Сурьма (Sb)	5,0	5,3	4,6	1,5	7,4	1,8	0,3	36	-0,4	0,4	-1,1	0,8
Цезий (Cs)	3,5	3,4	3,3	1,3	4,9	0,8	0,2	24	-0,5	0,4	0,2	0,8
Барий (Ba)	1531	785	888	479	21784	3835	700	250	5,4	0,4	29,7	0,8
Лантан (La)	34,2	35,5	33,3	14,5	47,9	7,2	1,3	21	-0,8	0,4	1,4	0,8
Церий (Ce)	69,2	69,0	63,0	3,6	113,9	21,0	3,8	30	-0,6	0,4	2,7	0,8
Неодим (Nd)	27,1	26,3	26,3	14,8	39,4	6,5	1,2	24	0,2	0,4	-0,3	0,8
Самарий (Sm)	5,3	5,5	5,2	3,2	6,7	0,9	0,2	16	-0,8	0,4	0,5	0,8
Европий (Eu)	1,2	1,2	1,1	0,05	1,7	0,3	0,1	27	-1,4	0,4	4,0	0,8
Тербий (Tb)	0,8	0,8	0,8	0,3	1,2	0,2	0,04	23	-0,5	0,4	0,3	0,8
Иттербий (Yb)	2,8	2,8	2,7	1,6	3,4	0,5	0,1	16	-1,1	0,4	1,2	0,8
Лютеций (Lu)	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	0,1	0,01	17	-0,9	0,4	0,4	0,8
Гафний (Hf)	5,7	5,7	5,6	3,4	7,9	1,1	0,2	18	-0,1	0,4	-0,1	0,8
Тантал (Ta)	1,0	0,9	1,0	0,5	1,6	0,3	0,1	29	0,3	0,4	-0,9	0,8

Золото (Au)	0,05	0,03	0,03	0,00	0,48	0,08	0,02	180	5,1	0,4	27,5	0,8
Ртуть (Hg)	0,29	0,28	0,26	0,14	1,04	0,16	0,03	56	4,0	0,4	19,4	0,9
Торий (Th)	8,5	8,4	8,2	2,4	13,2	2,1	0,4	25	-0,4	0,4	1,6	0,8
Уран (U)	3,9	3,9	3,8	1,4	6,1	0,9	0,2	23	-0,4	0,4	1,7	0,8

Примечание: m – среднее, X_{med} – медиана, X_{mod} – мода, $X_{геом}$ – среднее геометрическое, Min – минимум, Max – максимум, S – стандартное отклонение, δ_m – стандартная ошибка стандартного отклонения, V – коэффициент вариации, A – асимметрия, δ_A – стандартная ошибка асимметрии, E – эксцесс, δ_E – стандартная ошибка эксцесса

По результатам расчета коэффициентов парной корреляции концентраций химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 за период с 2009 г. по 2014 г. установлено 92 значимые корреляционные связи (при уровне доверительной вероятности 0,01) (таблица 5.4).

Распределение таких химических элементов как Na, Ca, Sc, Cr, Co, Rb, Sr, Cs, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th и U в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 является равномерным (коэффициент вариации менее 35%), тогда как распределение Fe, Zn, As, Br, Sb и Hg неравномерное (коэффициент вариации от 36 до 100%), а Ba и Au – крайне неравномерное (коэффициент вариации более 100%). На основании отношений коэффициентов асимметрии и эксцесса к их стандартным отклонениям экспериментальное распределение Ca, Fe, Zn, Rb, Sr, Ba, Eu, Au и Hg в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 значительно отличается от нормального ($|A/\delta A|$ и $|E/\delta E|$ больше 3), характер распределения содержаний остальных химических элементов из рассматриваемого спектра согласуются с теоретическим законом о нормальном распределении.

Разброс концентраций большинства рассматриваемых химических элементов в пробах нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 составляет от 2,1 до 4,9 раз. Наиболее контрастные уровни содержания установлены для Th, As, Br, Hg, Fe (разброс от 5,6 до 9,2 раз), для Rb, Ce, Eu, Ba (разброс от 20,8 от 45,5 раз), для Au и Zn (разброс от 106 от 228 раз). В качестве средних значений содержания химических элементов в пробах нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 за каждый отдельный зимний сезон с 2008/09 по 2013/14 гг. использованы средние арифметические значения, рассчитанные по выборке проб, отобранных по вектору в северо-восточном направлении от труб теплоэлектростанции. Динамика содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях теплоэлектростанции за период с 2009 по 2014 гг. представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.4 – Матрица коэффициентов парной корреляции концентраций химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 с 2009 по 2014 гг. (30 проб, критическое значение коэффициента корреляции 0,47 при доверительной вероятности 0,01)

	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Hg	Th	U
Na	1,00																											
Ca	0,16	1,00																										
Sc	0,20	0,36	1,00																									
Cr	0,41	-0,10	0,26	1,00																								
Fe	-0,03	-0,11	-0,05	0,09	1,00																							
Co	0,16	0,24	0,83	0,30	0,38	1,00																						
Zn	-0,02	0,30	0,19	-0,13	-0,05	0,12	1,00																					
As	0,15	0,40	0,49	0,14	0,15	0,57	0,43	1,00																				
Br	-0,05	0,17	0,20	0,06	0,52	0,32	-0,07	-0,07	1,00																			
Rb	0,09	0,35	0,49	0,16	-0,14	0,37	-0,02	0,22	-0,01	1,00																		
Sr	-0,09	0,37	0,29	-0,06	-0,01	0,20	0,71	0,50	0,00	0,24	1,00																	
Sb	0,19	0,36	0,42	0,29	0,40	0,45	0,22	0,67	0,30	0,37	0,44	1,00																
Cs	0,18	0,26	0,85	0,37	0,09	0,74	0,06	0,49	0,28	0,33	0,15	0,55	1,00															
Ba	0,18	0,17	0,31	0,34	0,38	0,15	0,21	0,31	0,35	0,23	0,52	0,59	0,37	1,00														
La	0,16	0,40	0,92	0,23	0,19	0,85	0,14	0,57	0,35	0,44	0,32	0,58	0,88	0,36	1,00													
Ce	0,19	0,68	0,50	0,04	-0,01	0,42	0,14	0,47	0,33	0,35	0,45	0,46	0,39	0,41	0,55	1,00												
Nd	0,18	0,06	0,41	0,38	0,43	0,48	0,15	0,50	0,23	0,23	0,29	0,57	0,55	0,38	0,55	0,23	1,00											
Sm	0,40	0,31	0,79	0,13	-0,17	0,53	0,09	0,35	0,12	0,51	0,21	0,40	0,67	0,36	0,74	0,43	0,27	1,00										
Eu	0,21	0,20	0,58	0,26	0,01	0,48	0,03	0,01	0,23	0,37	-0,05	0,09	0,44	-0,14	0,54	0,10	0,26	0,45	1,00									
Tb	-0,14	0,22	0,39	-0,15	0,03	0,23	0,06	-0,06	0,30	0,30	0,11	0,17	0,38	0,22	0,44	0,40	0,03	0,41	0,35	1,00								
Yb	0,16	0,36	0,93	0,22	0,02	0,75	0,26	0,49	0,21	0,44	0,33	0,52	0,89	0,39	0,92	0,44	0,44	0,79	0,53	0,45	1,00							
Lu	0,22	0,37	0,98	0,23	-0,03	0,79	0,19	0,50	0,19	0,49	0,35	0,46	0,87	0,41	0,93	0,54	0,44	0,82	0,52	0,48	0,95	1,00						
Hf	0,40	0,28	0,83	0,33	0,04	0,71	0,11	0,58	0,21	0,49	0,30	0,61	0,77	0,39	0,81	0,51	0,47	0,85	0,33	0,28	0,78	0,83	1,00					
Ta	0,01	0,18	0,60	-0,04	0,05	0,44	0,28	0,34	0,08	0,47	0,46	0,45	0,59	0,45	0,63	0,28	0,33	0,67	0,24	0,59	0,71	0,70	0,60	1,00				
Au	-0,10	-0,16	-0,25	0,07	0,94	0,19	-0,09	-0,01	0,55	-0,19	-0,06	0,26	-0,08	0,11	0,00	-0,06	0,40	-0,34	-0,03	-0,01	-0,20	-0,23	-0,14	-0,10	1,00			
Hg	0,04	0,58	0,02	0,13	0,00	-0,10	0,03	-0,04	0,42	0,31	0,21	0,39	0,05	0,24	0,11	0,40	0,07	0,18	0,13	0,17	0,04	0,02	0,16	0,08	0,08	1,00		
Th	-0,01	0,42	0,85	0,13	0,08	0,69	0,36	0,51	0,29	0,46	0,41	0,57	0,79	0,42	0,86	0,40	0,38	0,69	0,42	0,46	0,89	0,85	0,71	0,75	-0,13	0,16	1,00	
U	0,01	0,41	0,81	0,29	0,15	0,71	0,18	0,56	0,34	0,33	0,36	0,68	0,87	0,54	0,89	0,49	0,45	0,66	0,32	0,39	0,86	0,83	0,72	0,59	-0,05	0,23	0,87	1,00

Таблица 5.5 – Содержание химических элементов в нерастворимой фазе снега (мг/кг) в окрестностях Томской ГРЭС-2 с 2009 по 2014 гг.

Химический элемент	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Натрий (Na), %	0,82±0,06	0,74±0,09	0,67±0,10	0,72±0,03	0,72±0,03	0,70±0,03
Кальций (Ca), %	1,21±0,16	1,35±0,13	1,34±0,10	1,78±0,07	1,89±0,37	1,70±0,09
Скандий (Sc)	8,9±1,3	10,8±0,49	10,7±0,9	11,4±0,9	10,3±1,0	9,9±0,3
Хром (Cr)	101±13	111±10	94±9	89±6	101±12	80±6
Железо (Fe), %	6,00±2,65	4,06±0,22	3,26±0,33	4,17±0,34	3,35±0,27	3,64±0,11
Кобальт (Co)	16,1±2,5	19,1±1,6	19,7±1,9	20,7±1,9	17,5±2,0	18,0±0,7
Цинк (Zn)	519±96	652±173	421±131	589±96	1797±479	1987±522
Мышьяк (As)	11,4±1,9	12,0±3,2	7,3±0,9	21,8±3,2	17,3±2,3	18,3±1,3
Бром (Br)	7,2±1,5	4,6±0,6	5,8±0,3	4,2±0,6	5,3±1,3	3,3±0,8
Рубидий (Rb)	47±6	52±1	48±3	51±2	60±4	41±9
Стронций (Sr)	360±49	275±22	322±26	428±44	562±93	491±31
Сурьма (Sb)	5,6±0,9	5,7±0,3	2,5±0,3	5,9±1,0	6,1±0,6	4,3±0,2
Цезий (Cs)	3,3±0,6	3,8±0,5	3,2±0,2	3,8±0,6	3,3±0,3	3,4±0,3
Барий (Ba)	1960 ^l ±250	656±31	664±55	834±135	939±83	796±13
Лантан (La)	31,6±4,6	34,8±2,5	33,0±3,1	38,8±4,0	33,9±3,4	33,0±0,9
Церий (Ce)	61,9±8,1	55,0±12,9	64,9±4,9	81,0±8,9	84,8±11,5	67,9±1,7
Неодим (Nd)	28,3±4,0	27,6±2,3	22,7±3,5	28,5±1,8	30,5±3,4	24,8±1,0
Самарий (Sm)	5,33±0,47	5,33±0,29	5,17±0,50	5,62±0,49	5,28±0,49	5,15±0,14
Европий (Eu)	1,05±0,11	1,33±0,10	1,31±0,15	0,99±0,25	1,23±0,12	1,08±0,03
Тербий (Tb)	0,79±0,06	0,85±0,08	0,84±0,11	0,74±0,11	0,88±0,10	0,87±0,07
Иттербий (Yb)	2,57±0,33	2,97±0,09	2,61±0,21	2,93±0,20	2,73±0,23	2,80±0,08
Лютеций (Lu)	0,34±0,04	0,38±0,02	0,37±0,03	0,41±0,03	0,37±0,03	0,37±0,01
Гафний (Hf)	5,58±0,42	5,86±0,38	5,32±0,51	6,54±0,59	5,86±0,55	5,07±0,20
Тантал (Ta)	1,00±0,14	1,01±0,10	0,85±0,11	1,02±0,14	1,07±0,17	1,09±0,17
Золото (Au)	0,12±0,09	0,04±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	0,05±0,01	0,03±0,01
Ртуть (Hg)	0,29±0,01	0,27±0,02	0,25±0,03	0,25±0,03	0,48±0,14	0,18±0,01
Торий (Th)	7,7±0,6	9,0±0,6	7,7±0,6	9,3±1,0	8,9±1,3	8,4±0,3
Уран (U)	3,9±0,8	4,1±0,2	3,6±0,2	4,3±0,6	3,8±0,3	3,9±0,2
Th/U	1,97	2,20	2,14	2,16	2,34	2,15

Примечание: ± – стандартная ошибка среднего

Уровни превышения содержаний химических элементов в нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 над фоном представлены в таблице 5.6. Специфика нерастворимой фазы снега, выявленная по данным построения геохимического ряда ассоциаций элементов – $As_{29,4} - U_{19,6} - Ba_{15,3} - Yb_{13,8} - Tb_{13,8} - La_{12,2} - Ta_{10,1} - Sm_{9,3} - Ce_{6,7} - Lu_{5,0} - Na_{4,9} - Sr_{4,1} - Hg_{3,3} - Th_{2,9} - Hf_{2,6} - Sb_{2,2} - Ca_{1,9} - Co_{1,8} - Br_{1,8} - Sc_{1,5}$, отражает геохимическую специализацию используемых на теплоэлектростанции углей Кузнецкого бассейна (Смыслов и др., 1996; Редкие..., 2000; Арбузов и др., 2007). Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о поступлении данных химических элементов в атмосферный воздух, а далее в снежный покров на территории г. Томска в окрестностях теплоэлектростанции с выбросами от сжигания угля.

Таблица 5.6 – Коэффициенты концентрации химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 относительно регионального фона¹

Химический элемент	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
	min .. max					
Натрий (Na)	4,4 .. 6,4	3,6 .. 6,8	2,1 .. 5,6	4,2 .. 5,4	4,1 .. 5,2	4,3 .. 5,4
Кальций (Ca)	0,9 .. 2,0	1,1 .. 2,1	1,3 .. 1,9	1,9 .. 2,4	1,5 .. 4,0	1,8 .. 2,4
Скандий (Sc)	0,7 .. 1,7	1,3 .. 1,6	1,0 .. 1,7	1,2 .. 1,9	0,9 .. 1,8	1,3 .. 1,5
Хром (Cr)	0,7 .. 1,4	0,9 .. 1,4	0,6 .. 1,0	0,6 .. 0,9	0,7 .. 1,3	0,6 .. 0,9
Железо (Fe)	1,0 .. 8,8	1,8 .. 2,5	1,1 .. 2,0	1,6 .. 2,6	1,3 .. 2,1	1,8 .. 1,8
Кобальт (Co)	0,7 .. 2,1	1,5 .. 2,4	1,2 .. 2,3	1,3 .. 2,3	1,1 .. 2,3	1,6 .. 2,0
Мышьяк (As)	9,0 .. 29,9	14,3 .. 48,9	7,5 .. 17,4	18,6 .. 54,4	23,9 .. 49,4	28,0 .. 43,2
Бром (Br)	0,6 .. 3,6	1,2 .. 2,4	1,7 .. 2,3	0,8 .. 2,0	0,6 .. 3,0	0,6 .. 1,8
Рубидий (Rb)	0,6 .. 1,2	0,9 .. 1,0	0,7 .. 1,0	0,8 .. 1,0	0,8 .. 1,3	0,1 .. 0,9
Стронций (Sr)	2,1 .. 5,1	1,9 .. 3,1	2,5 .. 3,8	2,6 .. 5,1	3,8 .. 9,1	3,8 .. 5,5
Сурьма (Sb)	1,0 .. 3,0	2,0 .. 2,8	0,6 .. 1,3	0,9 .. 3,2	1,7 .. 3,2	1,7 .. 2,0
Цезий (Cs)	0,4 .. 1,3	0,7 .. 1,4	0,7 .. 1,0	0,7 .. 1,4	0,6 .. 1,1	0,7 .. 1,2
Барий (Ba)	5,1 .. 218	5,9 .. 7,3	4,8 .. 7,9	4,8 .. 13,0	7,8 .. 12,6	7,6 .. 8,3
Лантан (La)	5,2 .. 14,9	9,7 .. 14,5	7,4 .. 13,6	9,3 .. 17,1	7,3 .. 14,4	11,0 .. 12,7
Церий (Ce)	3,6 .. 8,1	0,3 .. 7,0	4,4 .. 6,9	5,3 .. 10,3	4,7 .. 11,1	6,1 .. 7,1
Самарий (Sm)	6,7 .. 11,5	7,7 .. 10,5	5,6 .. 10,3	6,9 .. 11,8	6,0 .. 10,9	8,6 .. 9,9
Европий (Eu)	0,6 .. 1,2	0,9 .. 1,4	0,7 .. 1,5	0,04 .. 1,3	0,7 .. 1,3	0,9 .. 1,1
Тербий (Tb)	10,6 .. 15,8	10,9 .. 18,0	7,7 .. 19,6	5,7 .. 16,2	8,8 .. 17,6	11,7 .. 19,0
Иттербий (Yb)	7,8 .. 17,0	13,9 .. 16,4	8,9 .. 14,5	11,5 .. 16,9	9,4 .. 15,9	12,7 .. 15,1

Лютеций (Lu)	2,9 ..5,9	4,6 .. 5,7	3,3 .. 5,6	4,0 .. 6,6	3,3 .. 5,9	4,5 .. 5,5
Гафний (Hf)	2,2 .. 3,0	2,2 .. 3,2	1,5 .. 2,8	2,0 .. 3,6	1,7 .. 3,2	2,0 .. 2,5
Тантал (Ta)	6,9 .. 14,3	8,4 .. 13,7	5,2 .. 11,8	6,8 .. 12,9	5,3 .. 15,3	6,8 .. 15,8
Золото (Au)	0,04 ..2,2	0,1 .. 0,4	0,1 .. 0,2	0,02 .. 0,1	0,2 .. 0,3	0,05 .. 0,2
Ртуть (Hg)	4,8 .. 5,4	3,5 .. 5,4	3,1 .. 5,5	2,6 .. 5,1	5,3 .. 18,2	2,4 .. 3,8
Торий (Th)	0,8 .. 4,0	2,7 .. 3,8	1,8 .. 3,1	2,1 .. 4,2	2,0 .. 4,5	2,6 .. 3,3
Уран (U)	6,9 .. 30,5	17,7 .. 23,1	13,6 .. 20,8	11,3 .. 26,6	13,7 .. 23,0	17,3 .. 21,1
СПЗ	143	136	116	163	164	157

Примечание: ¹ – для всех рассматриваемых химических элементов за исключением ртути; по данным Язикова Е.Г. (Язиков, 2006), Шатилова А.Ю. (Шатилов, 2001), ² – по данным Ляпиной Е.Е. (Ляпина и др., 2009).

Наиболее высокие коэффициенты концентраций большинства химических элементов из рассматриваемого спектра в пробах нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 относительно фона установлены в 2012 г. Это связано с тем, что в зимний сезон 2011/12 гг. на теплоэлектростанции использовался уголь более низкого качества (по параметрам, подлежащим сертификации, т.е. теплота сгорания, выход летучих компонентов, зольность и др.) по сравнению с другими зимними сезонами (согласно фондовым материалам Томской ГРЭС-2).

Степень загрязнения территории в окрестностях Томской ГРЭС-2 в течении всего периода проведения мониторинговых работ на основе рассчитанных значений суммарного показателя загрязнения (от 116 до 164, таблица 5.6) соответствует средней и высокой степеням загрязнения территории согласно нормативной градации, используемой в практике атмогеохимических исследований (Геохимия..., 1990).

Анализ данных элементного состава отходов, образующихся при сжигании угля на Томской ГРЭС-2 (шлак, зола-уноса) в зимний сезон 2011/12 гг., показал высокую сходимость с данными элементного состава проб нерастворимой фазы снега в окрестностях теплоэлектростанции. Для большинства химических элементов из рассматриваемого спектра не наблюдается существенного фракционирования содержаний между шлаком и золой-уноса (рисунок 5.3). При этом Zn, Hg и Tb концентрируются в основном в золе-уноса, а Cr, Co, Br, Sb и Au накапливаются преимущественно в составе шлакового материала в топочных камерах. Повышенные содержания Cr, Co, Br, Sb в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 относительно пробы золы-уноса, обусловлены тем, что эмиссия данных химических элементов происходит в

результате сжигание природного газа. Это объясняется тем, что этот же спектр химических элементов был нами установлен как типоморфный для окрестностей газовых котельных на примере ряда населённых пунктов Томской области (рисунок 4.3). Таким образом, изучение элементного состава отходов от сжигания угля на Томской ГРЭС-2 и нерастворимой фазы снега из ее окрестностей показало, что геохимическая специализация последнего сформирована преимущественно пылевыми выбросами теплоэлектростанции.

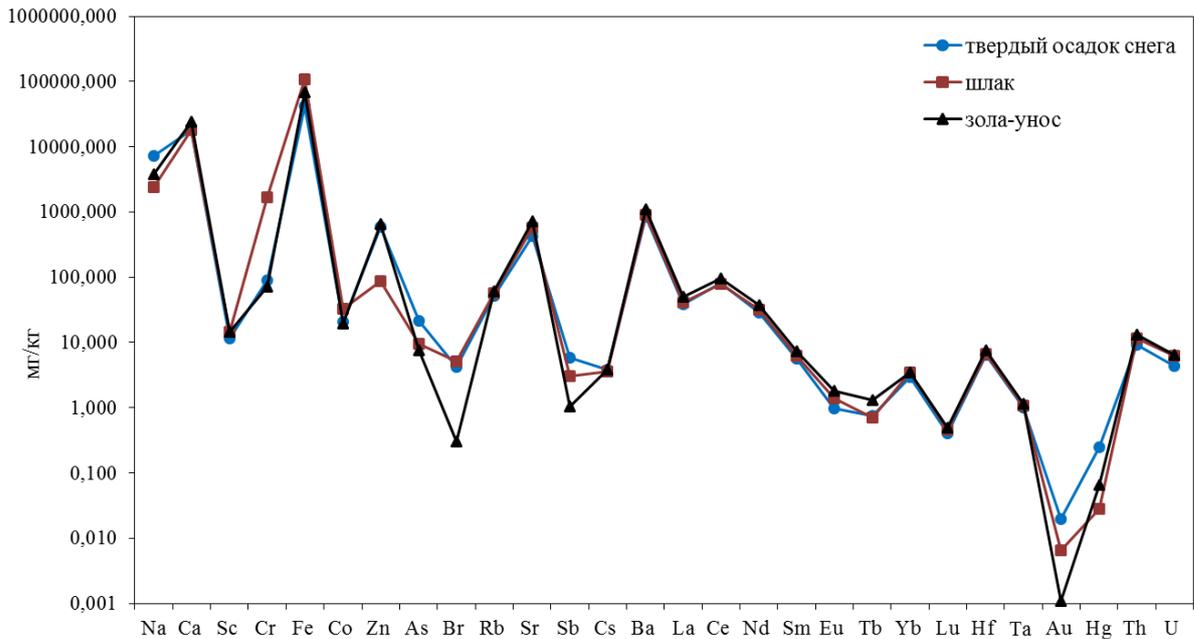


Рисунок 5.3 – Элементный состав проб нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 и отходов Томской ГРЭС-2 в 2012 г.

Вероятным источником поступления редких, редкоземельных, радиоактивных элементов, некоторых тяжелых металлов в рамках изучаемого нами спектра химических элементов, которые определяют геохимическую специализацию сжигаемых на теплоэлектростанции углей (Карта..., 1996; Редкие..., 2000; Арбузов и др., 2007) и соответственно элементный состав зольных отходов, могут являться выбросы теплоэлектростанции, совмещенные с воздействием от других городских источников. Данное комплексное воздействие может быть условно обозначено как «Фактор 1», обуславливающий более 45% дисперсии распределения содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2, согласно результатам факторного анализа (метод главных компонент) (рисунок 5.4).

«Фактор 2» отвечает за 9,2% дисперсии содержания химических элементов, при этом его влияние наиболее значимо для Sr, Hg, Zn, Ca, Ce, Ba (рисунок 5.5), выделяемых нами в качестве индикаторов воздействия Томской ГРЭС-2.

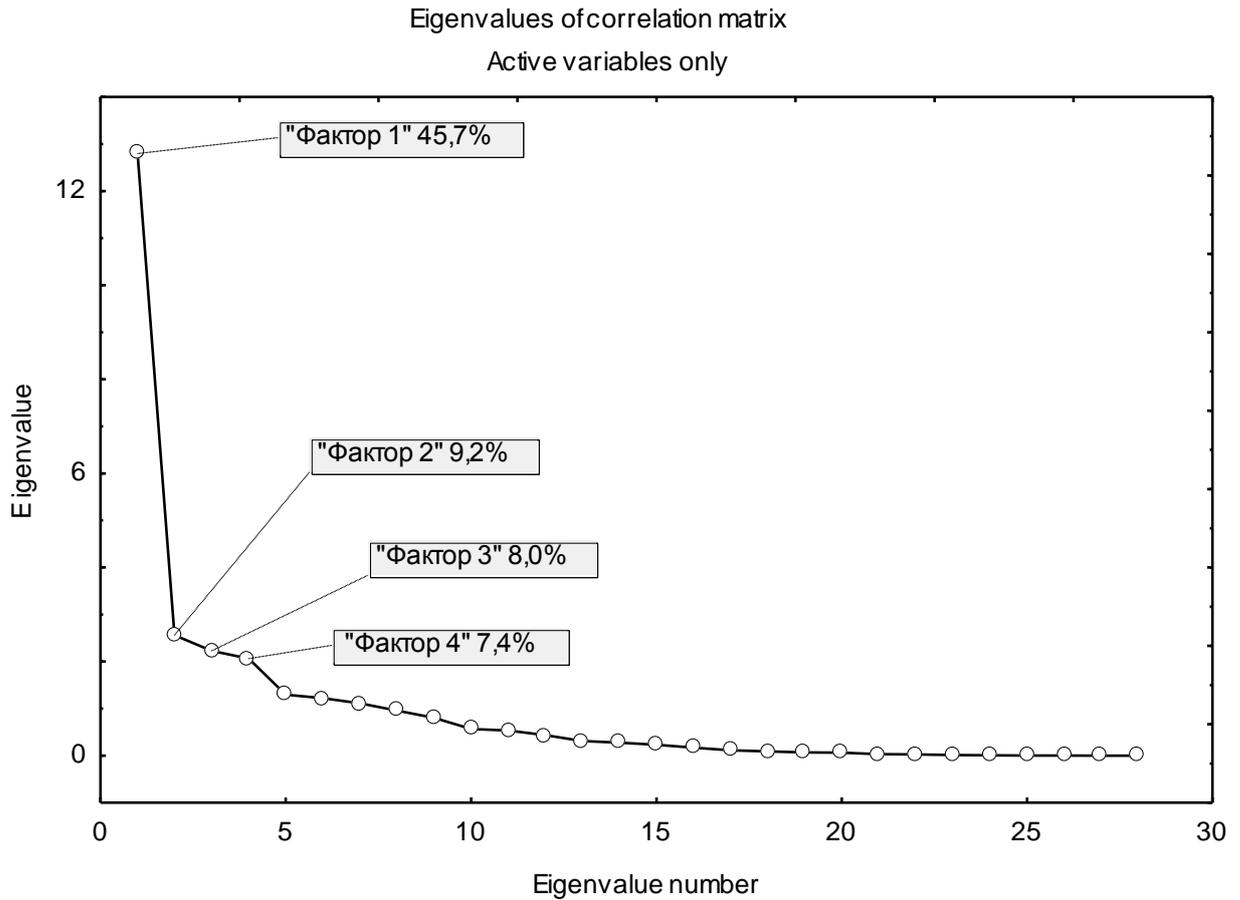


Рисунок 5.4 – Кривая вкладов факторов в общую дисперсию распределения химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2

Восемь процентов дисперсии содержаний химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 объясняется действием «Фактора 3», который объединяет в группу химические элементы с высокой миграционной подвижностью – Hg и Br (рисунок 5.5). Данные химические элементы после их эмиссии в парогазовой форме могут связываться с твердыми пылеаэрозольными частицами вследствие различных фотохимических, физико-химических и других процессов и далее накапливаться в снеге. «Фактор 4», влияющий на 7,4% дисперсии содержания химических элементов, объединяет Na и Sr. Таким образом, действие четырех факторов в сумме объясняет более 70% общей дисперсии содержаний химических элементов в составе нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2.

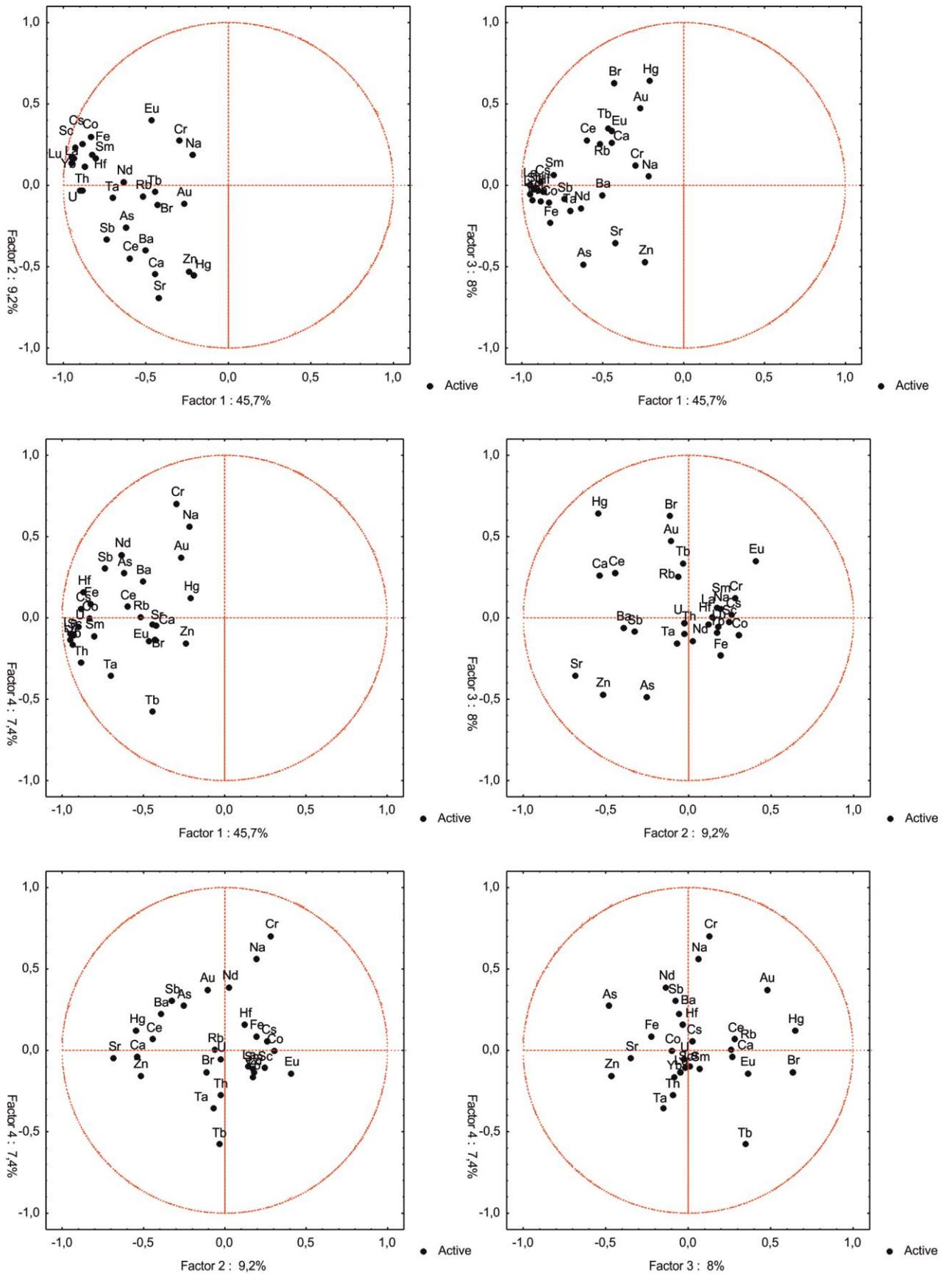


Рисунок 5.5 – Круговые диаграммы факторных нагрузок химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2

Средние содержания химических элементов в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 за период проведения мониторинга (с 2009 по 2014 гг.) в целом в сравнении со средними концентрациями химических элементов в пробах из окрестностей других промышленных предприятий г. Томска и средними региональными величинами представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Средние содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега (мг/кг) из окрестностей промышленных предприятий г. Томска (2009 – 2014 гг.)

Химический элемент	Томская ГРЭС-2 (n=30)	Томск-нефтехим (n=30)	Кирпичные заводы (n=30)	Населенные пункты южных районов Томской области (n=222)	Населенные пункты Томской области (n=637)	г. Томск (Таловская, 2008)	Фон*
Натрий (Na), %	0,73 ¹ ±0,02 ²	0,50±0,02	1,15±0,03	0,50±0,05	0,57±0,02	0,7±0,03	0,15
Кальций (Ca), %	1,55±0,08	1,20±0,04	1,59±0,07	1,31±0,09	1,29±0,04	1,2±0,05	0,82
Скандий (Sc)	10,3±0,4	9,7±0,4	12,3±0,3	7,8±0,2	6,4±0,1	8,6±0,3	7,1
Хром (Cr)	96±4	125±14	99±3	101±4	99±3	98,5±4	110
Железо (Fe), %	4,08±0,45	3,20±0,14	3,45±0,08	2,43±0,06	2,21±0,05	2,7±0,1	1,87
Кобальт (Co)	18,5±0,8	14,2±0,6	15,6±0,4	12,2±0,3	10,8±0,2	13,6±0,5	10,3
Цинк (Zn)	994±165	206±19	215±11	358±26	320±12	н.д.	н.д.
Мышьяк (As)	14,7±1,3	6,7±0,6	9,3±0,8	5,8±0,3	8,5±0,3	3,8±0,7	0,5
Бром (Br)	5,1±0,4	9,6±1,8	2,2±0,4	9,2±0,5	6,6±0,4	12,1±1,1	2,9
Рубидий (Rb)	50,0±2,2	51,7±2,3	72,7±1,7	41,9±1,0	38,2±0,6	47±1,7	55
Стронций (Sr)	406±26	236±15	173±14	194±9	188±6	178±27,2	100
Сурьма (Sb)	5,0±0,3	3,5±0,3	2,3±0,2	4,7±1,4	3,9±0,5	6,8±0,5	2,3
Цезий (Cs)	3,5±0,2	4,3±0,2	4,2±0,2	3,0±0,1	2,1±0,1	3,4±0,1	3,5
Барий (Ba)	1531±700	755±43	540±23	508±18	463±25	858±66	100
Лантан (La)	34,2±1,3	40,5±1,8	31,9±0,8	27,2±0,9	21,8±0,5	25,2±0,8	2,8
Церий (Ce)	69,2±3,8	80,3±3,6	68,6±0,4	60,8±0,4	48,9±1,4	54±1,8	10,3
Неодим (Nd)	27,1±1,2	31,7±1,3	25,8±0,8	21,0±0,6	18,5±1,0	н.д.	н.д.
Самарий (Sm)	5,31±0,16	6,15±0,26	5,57±0,15	4,28±0,13	3,41±0,08	4,3±0,2	0,57
Европий (Eu)	1,2±0,1	1,2±0,1	1,3±0,1	0,8±0,1	0,7±0,02	1,2±0,2	1,1
Тербий (Tb)	0,83±0,04	0,93±0,05	0,91±0,04	0,63±0,02	0,50±0,01	0,7±0,03	0,06
Иттербий (Yb)	2,77±0,08	3,21±0,13	3,12±0,08	2,21±0,06	1,83±0,03	1,9±0,1	0,2
Лютеций (Lu)	0,374±0,012	0,433±0,017	0,443±0,011	0,308±0,009	0,273±0,022	0,3±0,01	0,075
Гафний (Hf)	5,7±0,2	6,6±0,3	7,4±0,3	4,5±0,1	3,8±0,1	4,7±0,2	2,2
Тантал (Ta)	1,0±0,1	1,4±0,1	1,0±0,01	0,8±0,1	0,6±0,02	0,8±0,03	0,1

Химический элемент	Томская ГРЭС-2 (n=30)	Томск-нефтехим (n=30)	Кирпичные заводы (n=30)	Населенные пункты южных районов Томской области (n=222)	Населенные пункты Томской области (n=637)	г. Томск (Таловская, 2008)	Фон*
Золото (Au)	0,05±0,02	0,02±0,001	0,01±0,001	0,05±0,001	0,04±0,0001	0,1±0,01	0,22
Ртуть (Hg)	0,29±0,03	0,41±0,02	0,10±0,01	0,24±0,01	0,17±0,01	0,34±0,02	0,057 ¹
Торий (Th)	8,5±0,4	12,4±0,6	8,7±0,3	7,5±0,3	5,4±0,1	6,7±0,2	2,9
Уран (U)	3,9±0,2	4,8±0,2	2,9±0,1	3,5±0,1	2,6±0,1	2,8±0,1	0,2

Примечание: данные инструментального нейтронно-активационного и атомно-абсорбционного методов анализа; n – объем выборки; ± – стандартная ошибка среднего; н.д. – нет данных; * – по данным Язикова Е.Г. (2006) и Шатилова А.Ю. (2001), ¹ – по данным Ляпиной Е.Е. (Ляпина и др., 2009)

Сравнение средних содержаний химических элементов в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 со средними концентрациями для г. Томска в целом (Таловская, 2008) с помощью параметрического критерия Стьюдента и непараметрических критериев Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни позволило установить, что средние содержание большинства рассматриваемых химических элементов (Ca, Sc, Fe, Co, As, Sr, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U) в пробах из окрестностей теплоэлектростанции значительно превышают средние городские величины. Ранее также было установлено, что повышенные концентрации Na, La, Yb, U, V, C_{общ.} и C_{орг.} в пылеаэрозолях и As, Zn, Be, P в почвах на территории г. Томска предположительно объясняются воздействием теплоэнергетического комплекса – Томской ГРЭС-2 (Язиков, 2006).

По результатам сопоставления средних концентраций химических элементов в нерастворимой фазе снега из окрестностей рассматриваемых предприятий в период с 2009 по 2014 гг. территория в окрестностях Томской ГРЭС-2 характеризуется значимо более высокими концентрациями в пробах Co, Zn, As, Sr и Sb; территория в окрестностях нефтехимического завода – Br, Hg, Ta, Th, U, La и легких лантаноидов – Ce, Nd; территория в окрестностях кирпичного завода – Na, Rb, Hf и тяжелых лантаноидов – Yb, Lu.

Пробы нерастворимой фазы снега из окрестностей рассматриваемых промышленных предприятий обогащены большинством химических элементов из рассматриваемого

спектра относительно среднего состава земной коры (рисунок 5.6 (а)). При этом результаты расчета средних значений данного показателя для проб нерастворимой фазы снега из окрестностей каждого из рассматриваемых промышленных предприятий г. Томска с 2009 по 2014 гг. позволил установить, что пробы наиболее обогащены Zn (в 3,2-17,3 раза), Au (в 2,6-12,5 раз), Hg (в 1,6-8,0 раза), Sb (в 2,4-6,1 раза), Ba (в 1,3-5,2 раза), As (в 1,7-3,2 раза), U (в 1,4-3,0 раза) и Hf (в 1,9-2,3 раза) относительно среднего состава земной коры. Значительное обогащение проб нерастворимой фазы снега относительно среднего состава местных почв (Жорняк, 2009) установлено для As, Sr, Sb в окрестностях всех рассматриваемых промышленных предприятий, дополнительно Ba, La, Ce, Ta, Hg, Th, и U в пробах из окрестностей теплоэлектростанции и нефтехимического завода, а также Cr и Br в пробах из окрестностей нефтехимического завода. Это указывает на то, что поступление данных химических элементов на снежный покров в окрестностях промышленных предприятий г. Томска носит ярко выраженный аэротехногенный характер (рисунок 5.6 (б)).

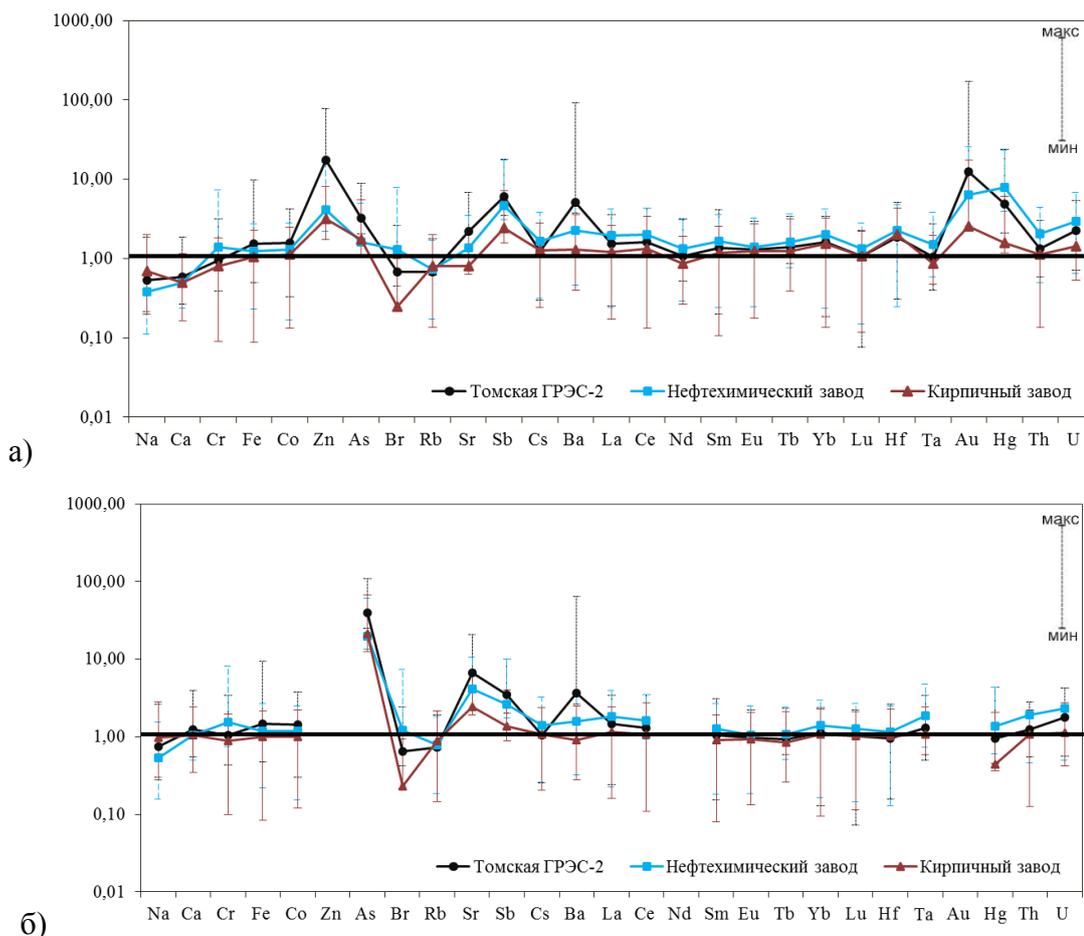


Рисунок 5.6 – Факторы обогащения нерастворимой фазы снега химическими элементами в окрестностях промышленных предприятий г. Томска относительно среднего состава земной коры (Григорьев, 2003) (а) и среднего состава почв г. Томска (Жорняк, 2009) (б)

Исследования элементного состава проб нерастворимой фазы снега, отобранных в 2013 и 2014 гг., методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (таблица 5.8) и последующее сравнение концентраций химических элементов в пробах между различными территориями с использованием критериев параметрической и непараметрической статистики, позволили дополнить перечни индикаторных химических элементов в составе нерастворимой фазы снега для зон влияния рассматриваемых предприятий. Так, для проб нерастворимой фазы снега из окрестностей теплоэлектростанции таковыми химическими элементами являются P, Cu, Mo, Cd, Sn, Pb; из окрестностей нефтехимического завода – Mn, Nb; из окрестностей кирпичных заводов – Mg, K.

Таблица 5.8 – Средние содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега (мг/кг) в окрестностях промышленных предприятий г. Томска в 2013-2014 гг.

	<i>Li</i>	<i>Be</i>	<i>Na, %</i>	<i>Mg, %</i>	<i>Al, %</i>	<i>P, %</i>	<i>K, %</i>
фон	13,4	1,5	0,45	0,29	2,16	0,09	0,64
Томская ГРЭС-2 (n=6)	33,7±3,4	5,1±1,6	0,77±0,06	0,63±0,05	5,98±0,50	0,13±0,01	1,34±0,10
Томскнефтехим (n=7)	46,3±4,8	3,7±0,5	0,50±0,02	0,51±0,04	6,18±0,22	0,09±0,01	1,11±0,05
Кирпичные заводы (n=6)	26,6±1,2	2,0±0,2	1,01±0,07	0,69±0,05	4,96±0,35	0,07±0,01	1,33±0,07
	<i>Ti, %</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe, %</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>
фон	0,22	23,9	43,5	231	1,35	6,4	13,6
Томская ГРЭС-2 (n=6)	0,50±0,09	66,4±8,3	76,4±12,8	513±37	3,47±0,25	19,8±2,2	33,8±7,6
Томскнефтехим (n=7)	0,41±0,04	45,6±5,1	71,2±8,4	719±49	3,38±0,27	14,1±1,1	38,9±6,2
Кирпичные заводы (n=6)	0,42±0,02	84,3±4,5	68,5±3,2	524±38	3,00±0,17	14,2±0,7	19,9±3,9
	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Ga</i>	<i>Ge</i>	<i>As</i>	<i>Se</i>	<i>Rb</i>
фон	112,4	142	10,1	0,6	10,4	12,2	31,5
Томская ГРЭС-2 (n=6)	371±120	1953±536	21,4±2,3	2,0±0,2	26,3±5,8	17,4±4,1	55,7±4,8
Томскнефтехим (n=7)	70±56	266±55	18,7±1,7	1,6±0,1	8,3±2,4	7,5±1,1	47,4±3,5
Кирпичные заводы (n=6)	58±5	235±11	17,9±0,7	1,8±0,1	11,3±1,3	7,9±2,6	70,1±3,1
	<i>Sr</i>	<i>Y</i>	<i>Zr</i>	<i>Nb</i>	<i>Mo</i>	<i>Ag</i>	<i>Cd</i>
фон	137	10,1	69,4	6,6	1,9	0,49	0,3
Томская ГРЭС-2 (n=6)	449±47	22,7±2,3	156±14	14,4±1,3	4,4±0,4	0,71±0,08	1,35±0,18
Томскнефтехим (n=7)	330±26	26,7±3,6	232±14	22,0±1,4	2,8±0,2	0,80±0,07	1,11±0,06
Кирпичные заводы (n=6)	207±4	19,5±0,7	86,4±3,8	11,6±0,8	1,6±0,2	0,39±0,05	0,65±0,05
	<i>In</i>	<i>Sn</i>	<i>Sb</i>	<i>Cs</i>	<i>Ba</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>
фон	0,08	33	4,2	2	305	16,6	33,5
Томская ГРЭС-2 (n=6)	0,10±0,01	9,7±1,6	6,3±0,8	3,5±0,3	1154±130	34,5±3,8	72,7±7,4
Томскнефтехим (n=7)	0,11±0,01	7,6±0,9	3,3±0,3	4,1±0,4	928±87	41,6±5,7	90,9±8,2
Кирпичные заводы (n=6)	0,09±0,01	3,8±0,2	5,9±3,8	4,1±0,2	645±79	29,5±1,5	67,7±3,7

	<i>Pr</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>	<i>Eu</i>	<i>Gd</i>	<i>Tb</i>	<i>Dy</i>
фон	3,5	13,7	2,6	0,5	2,6	0,3	2,1
Томская ГРЭС-2 (n=6)	7,3±0,8	27,0±3,3	5,0±0,6	1,0±0,1	5,4±0,6	0,7±0,1	4,0±0,4
Томскнефтехим (n=7)	9,1±1,3	33,3±4,7	6,4±0,9	1,1±0,1	6,8±1,0	0,9±0,1	5,1±0,7
Кирпичные заводы (n=6)	7,3±0,4	27,4±1,2	5,3±0,3	1,2±0,1	5,6±0,3	0,7±0,1	4,2±0,3
	<i>Ho</i>	<i>Er</i>	<i>Tm</i>	<i>Yb</i>	<i>Lu</i>	<i>Hf</i>	<i>Ta</i>
фон	0,41	1,1	0,16	1,1	0,15	1,7	0,5
Томская ГРЭС-2 (n=6)	0,74±0,08	2,1±0,2	0,31±0,03	2,1±0,2	0,30±0,03	3,2±0,4	0,9±0,1
Томскнефтехим (n=7)	0,97±0,15	2,8±0,4	0,43±0,06	2,7±0,4	0,44±0,06	5,9±0,6	2,0±0,2
Кирпичные заводы (n=6)	0,71±0,05	2,1±0,1	0,30±0,02	2,0±0,1	0,28±0,02	2,2±0,1	0,9±0,1
	<i>W</i>	<i>Re</i>	<i>Tl</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>
фон	2,6	0,05	0,2	76,7	1	4,3	1,5
Томская ГРЭС-2 (n=6)	21,1±2,3	0,03±0,01	0,5±0,1	96,8±11,2	2,5±1,3	8,0±1,0	2,9±0,3
Томскнефтехим (n=7)	5,3±0,6	0,03±0,01	0,6±0,1	73,5±5,4	1,1±0,1	12,3±1,6	4,3±0,3
Кирпичные заводы (n=6)	228±157	0,03±0,01	0,4±0,1	34,4±1,2	1,1±0,2	8,2±0,5	1,8±0,1

Примечание: фон – пос. Киреевск, 70 км от г. Томска

Источником накопления некоторых химических элементов в нерастворимой фазе снега (Hg, Ta, Th, U, La, Ce, Nd) в повышенных концентрациях в пробах из окрестностей нефтехимического завода, вероятно, могут являться помимо выбросов от самого нефтехимического производства, также от объектов Сибирского химического комбината (предприятие ядерно-топливного цикла), включая мощную угольно-газовую Северскую теплоэлектростанцию. Это связано с тем, что исследуемая территория в окрестностях Томскнефтехима перекрывается санитарно-защитной зоной Сибирского химического комбината. Мониторинговые работы в окрестностях нефтехимического завода с 2009 по 2014 гг. позволили зафиксировать повышенные уровни концентрации Вг в пробах нерастворимой фазы снега в сравнении с территориями в окрестностях других рассматриваемых нами промышленных предприятий. Однако при этом содержание Вг в пробах нерастворимой фазы снега в период с 2009 по 2014 гг. в 3,5 раза ниже содержаний, установленных в 1990-х гг. в районе размещения исследуемого нефтехимического производства (Языков, 2006). Повышенные концентрации La и легких лантаноидов (Ce, Nd) в пробах нерастворимой фазы из окрестностей Томского нефтехимического завода обусловлены влиянием данного промышленного предприятия, что подтверждается литературными данными о выбросах взвешенных загрязняющих веществ с повышенными концентрациями La, Ce, Sm, Pr, Nd, Gd нефтеперерабатывающими и нефтехимическими заводами Хьюстона, США (Kulkarni et al., 2006; Vozlaker et al., 2013) и Пуэрто-Лано, Испания (Querol et al., 2007). Повышенные концентрации ртути в пробах нерастворимой

фазы снега из окрестностей нефтехимического завода, вероятно, обусловлены сжиганием газа и нефтяных (бензиновых) фракций, так как сжигание органического топлива является источником эмиссии ртути в окружающую среду (Янин, 1992). Тогда как повышенные концентрации Mn в нерастворимой фазе снега, вероятно, могут быть связаны с использованием в технологии производства полимеров на нефтехимическом заводе катализаторов на основе соединений марганца. Так как катализаторы на основе оксидов переходных металлов (Ni, Cu, Cr, Mn, Co) и термостойких оксидов Sn, Zr, Al приобретают все большую востребованность в нефтехимической отрасли (Цырульников, 2007; Галанов и др., 2014). Повышенные содержания радиоактивных элементов (Th, U) в пробах нерастворимой фазы снега вблизи нефтехимического завода, с высокой долей вероятности могут быть обусловлены влиянием на данную территорию от Северской теплоэлектростанции.

Кобальт, Zn, As, Sr, Sb, P, Cu, Mo, Cd, Sn, Pb, характеризующиеся повышенными концентрациями в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 в сравнении с территориями в зонах влияния других промышленных предприятий г. Томска, типичны для компонентов природной среды в окрестностях угольных теплоэлектростанций в целом (Calvo et al., 2013). Результаты исследования нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 хорошо согласуются с данными по изучению элементного состава снежного покрова в окрестностях теплоэлектростанции г. Благовещенска (Куимова и др., 2012), где было доказано, что повышенные содержания группы халькофильных химических элементов (Cu, Zn, Cd) в снежном покрове связаны с влиянием объекта теплоэнергетической отрасли.

Величины среднесуточного притока химических элементов на снежный покров в условно ближней и дальней зонах воздействия Томской ГРЭС-2, установленных по данным среднесуточного выпадения взвешенных веществ из атмосферного воздуха на снежный покров, представлены в таблице 5.9. Уровни среднесуточного выпадения химических элементов на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 в период с 2009 по 2014 гг. изменяются в пределах от 0,6 до 2170 величин регионального фона. В среднем приток As, Ba, La, Sm, Tb, Yb, Ta и U на снежный покров в окрестностях теплоэлектростанции более чем в 100 раз превышает фон, Na, Zn, Ce и Lu – от 50 до 100 раз. Уровни среднесуточного выпадения Na, Cr, Rb, Sb, Cs, Eu, Au и Hg на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 сопоставимы со средними значениями для г. Томска (Таловская, 2008).

Таблица 5.9 – Среднесуточный приток химических элементов на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2
с 2009 по 2014 гг., мг/км²·сут

Химический элемент	Фон ⁴	г. Томск ⁵	2009 г.		2010 г.		2011 г.		2012 г.		2013 г.		2014 г.	
			I ²	II ³	I	II								
Натрий (Na)	10,5	452,2±63,4	1574	528	788	509	825	365	482	391	361	278	532	249
Кальций (Ca)	57,4	721,3±76,4	2904	681	1743	855	1540	786	1084	999	734	801	1368	593
Скандий (Sc)	50	572±71,8	2184	501	1245	723	1351	589	701	550	472	424	681	362
Хром (Cr)	770	5927±552	22399	5902	13337	7385	12429	4974	5791	4183	6775	3268	5142	2928
Железо (Fe)	130,9	1744±191	7938	5020	5019	2566	4306	1715	2924	1852	1602	1344	2716	1260
Кобальт (Co)	72	863±88,3	3487	1020	2136	1299	2492	1070	1355	932	789	731	1292	640
Цинк (Zn)	980 ⁷	н.д.	116862	32198	55851	51363	35856	26183	37040	26767	45603	94305	93415	79372
Мышьяк (As)	3,5	236±48,4	2576	695	1142	894	956	392	1626	828	810	723	1423	618
Бром (Br)	20	706±80,3	1579	475	758	258	601	364	260	175	202	224	131	163
Рубидий (Rb)	385	3095±383	11411	2609	6579	3288	5791	2754	3047	2664	2768	2499	3753	1252
Стронций (Sr)	700	9501±1513	86133	21213	38022	16212	40870	17358	27895	18458	21821	25076	30102	18717
Сурьма (Sb)	16	371±33,1	1261	349	699	361	329	131	442	209	260	254	342	147
Цезий (Cs)	25	223±29,5	841	181	353	279	400	181	234	178	157	128	205	130
Барий (Ba)	700	47207±3569	282979	545702	80634	42643	82787	37849	55310	33603	44823	37682	57114	28726
Лантан (La)	20	1557±154	7433	1890	3725	2417	4077	1848	2237	1846	1511	1397	2333	1197
Церий (Ce)	72	3398±343	14805	3590	8278	2926	8111	3605	5023	3624	3920	3322	4711	2495
Неодим (Nd)	96 ⁷	н.д.	5998	1835	3030	1939	2734	1337	1645	1493	1673	1135	1712	901
Самарий (Sm)	4,0	273±29,5	1175	318	601	362	672	279	337	267	240	216	378	185
Европий (Eu)	7,7	76±10,6	236,0	63,6	141,4	92,1	170,9	70,7	50,9	59,6	58,3	48,5	78,8	39,0
Тербий (Tb)	0,4	43,9±4,7	170,5	47,8	100,9	54,5	99,9	50,5	32,1	41,4	40,1	35,3	61,4	32,8
Иттербий (Yb)	1,4	120±12,7	615	148	365	194	330	144	174	145	131	109	193	103
Лютеций (Lu)	0,5	19,8±2,2	81,2	19,2	45,2	25,6	47,0	20,7	24,5	19,8	17,3	15,1	25,9	13,6
Гафний (Hf)	15	300±34,7	1226	335	665	399	696	283	409	303	266	242	333	191

Тангал (Ta)	0,7	50±5	251,2	53,4	118,4	67,9	122,3	42,7	53,1	49,4	38,9	49,1	82,3	36,8
Золото (Au)	1,5	3,6±0,5	6,5	12,1	4,6	2,3	3,5	2,1	1,5	0,6	2,6	1,6	1,4	1,0
Ртуть (Hg)	0,399	20,6±2,2	22,3	20,4	13,2	17,1	32,0	14,1	16,3	10,9	19,4	19,4	11,7	6,5
Торий (Th)	20,3	426±47,2	2030	419	1032	611	1011	412	538	442	349	398	568	315
Уран (U)	1,4	171±17,9	1025	214	464	279	457	197	272	182	171	155	261	144

Примечание: Ca, Na, Fe – г/км²·сут; ¹ – локальный фон, пос. Киреевск, 70 км от г. Томска; ² – условно ближняя зона воздействия (до 1 км); ³ – условно дальняя зона воздействия (от 1 до 2 км); ⁴ – Шатилов, 2001; Язиков, 2006; ⁵ (Таловская, 2008)н.д. – нет данных

Тогда как уровень среднесуточного притока Ca, As, Sr, Ba, Yb и U на снег в окрестностях теплоэлектростанции, усредненный за период с 2009 по 2014 г., превышает средние городские величины в 1,5 – 4,2 раза. Среднесуточные выпадения всех рассматриваемых химических элементов на снежный покров в условно ближней зоне воздействия Томской ГРЭС-2 (на удаление от труб теплоэлектростанции до 1 км) имеют более высокие значения по сравнению с условно дальней зоной воздействия (на удаление от 1 до 2 км от труб теплоэлектростанции).

Наиболее контрастные различия в уровнях притока химических элементов на снежный покров в условно ближней и дальней зонах воздействия Томской ГРЭС-2 установлены в 2009 г., тогда как наиболее равномерный среднесуточный приток – в 2012-2014 гг. Величина среднесуточного притока большинства химических элементов из рассматриваемого спектра на снежный покров в условно ближней зоне воздействия Томской ГРЭС-2 уменьшается с 2009 по 2014 гг. в 2,1-12 раз. Исключением являются такие химические элементы как Zn, As и Hg, динамика среднесуточного притока на снежный покров которых в ближней зоне воздействия теплоэлектростанции характеризуется разнонаправленными трендами в течение проведения мониторинга с 2009 по 2014 гг.

Среднесуточная нагрузка, обусловленная притоком химических элементов из атмосферного воздуха в составе нерастворимой пылевой составляющей, на снежный покров в условно дальней зоне воздействия Томской ГРЭС-2 характеризуется меньшей вариабельностью между зимними сезонами с 2009 по 2014 гг. по сравнению с условно ближней зоной воздействия.

Величина суммарного показателя нагрузки, рассчитанного по всему перечню рассматриваемых химических элементов, в окрестностях Томской ГРЭС-2 изменяется от 609 до 6228 единиц, при этом усредненные значения по вектору от труб теплоэлектростанции составляет 3332 единиц в 2009 г., 1959 – в 2010 г., 1677 – в 2011 г., 1388 – в 2012 г., 1144 – в 2013 г., 1275 – в 2014 г., что согласно (Геохимия..., 1990) соответствует средней степени загрязнения территории.

5.3 Ионный состав растворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2

Водородный показатель растворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 изменяется в диапазоне от 6,12 до 6,90 единиц при средней величине – 6,43. Это в целом сопоставимо с рН снеготалой воды из окрестностей таких промышленных предприятий г. Томска как кирпичные заводы и нефтехимический завод, где рН в среднем составляет 6,39 и 6,30 соответственно (рисунок 5.7). Водородный показатель фоновых проб, отобранных в с. Киреевск, составляет 5,26 единиц и соответствует слабокислой реакции незагрязненных

атмосферных осадков, для которых рН определен как 5,6 (Мониторинг..., 1982; Свистов, 2011). Отличие рН снеготалой воды из окрестностей рассматриваемых промышленных предприятий г. Томска от фоновых проб, связано с повышенным содержанием в пробах взвеси (нерастворимого осадка), а соответственно и в атмосферном воздухе, пылевых частиц, в частности оксидов металлов, карбонатов кальция и других щелочных и щелочноземельных металлов (Микушин и др., 2006; Свистов, 2011).

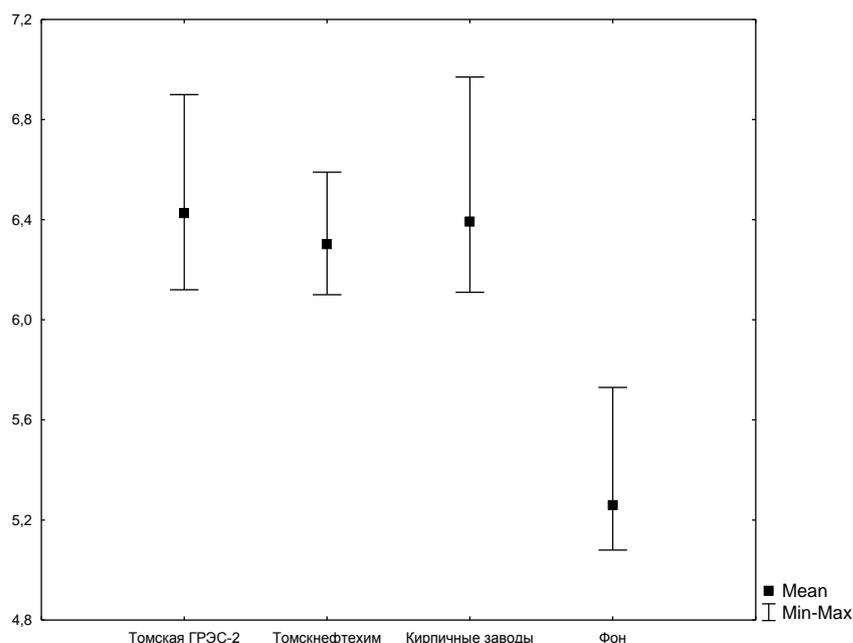


Рисунок 5.7 – Водородный показатель (рН) снеготалой воды в окрестностях промышленных предприятий г. Томска

Минерализация растворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 изменяется в диапазоне от 12,7 до 52,0 мг/дм³, при средних значениях 34,0, 14,6 и 38,9 мг/дм³ (ультрапресные воды) в 2012, 2013 и 2014 гг. соответственно. При этом минерализация фоновых проб (пос. Киреевск) составляет 5,1±0,4 мг/дм³, что в целом близко к уровню глобального фона минерализации осадков – 1-3 мг/дм³ (Свистов, 2011). Средняя величина минерализации растворимой фазы снега (за период с 2012 по 2014 гг.) из окрестностей кирпичных заводов г. Томска составляет 25,6±2,0 мг/дм³, из окрестностей нефтехимического завода – 10,4±1,3 мг/дм³ за период проведения исследований с 2012 по 2014 гг.

Снеготалая вода из окрестностей рассматриваемых предприятий г. Томска и фоновой территории является гидрокарбонатно-кальциево-натриевой (рисунок 5.8). Пробы растворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 характеризуются повышенными удельными вкладами сульфат- и хлорид-ионов в общую минерализацию

проб относительно фоновой территории и территорий в окрестностях других рассматриваемых предприятий.

Превышение концентраций ионов в составе растворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 относительно фоновых величин составляет от 3,3 до 12,9 раз, при этом наиболее контрастные превышения отмечаются для катионов (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) и хлорид-иона. Пробы растворимой фазы снега из окрестностей кирпичных заводов характеризуются повышенными содержаниями основных ионов относительно фона в пределах от 3,2 до 8,0 раз, а пробы из окрестностей нефтехимического завода характеризуются наименее контрастными превышениями над фоном (от 1,6 до 4,5 раз) среди всех рассматриваемых территорий (таблица 5.10). Также превышение содержаний соединений азота (NH_4^+ , NO_2^-) в пробах растворимой фазы снега из окрестностей нефтехимического завода относительно фоновых концентраций характеризуются наименьшими значениями среди всех рассматриваемых территорий.

Превышение фоновых концентраций нитратов в снеготалой воде установлено только для проб из окрестностей Томской ГРЭС-2, что связано с выбросами азота – предшественника нитрат-ионов в осадках, образующегося при высокотемпературных процессах сжигания топлива (Латыпова и др., 2005; Li and Shao, 2009).

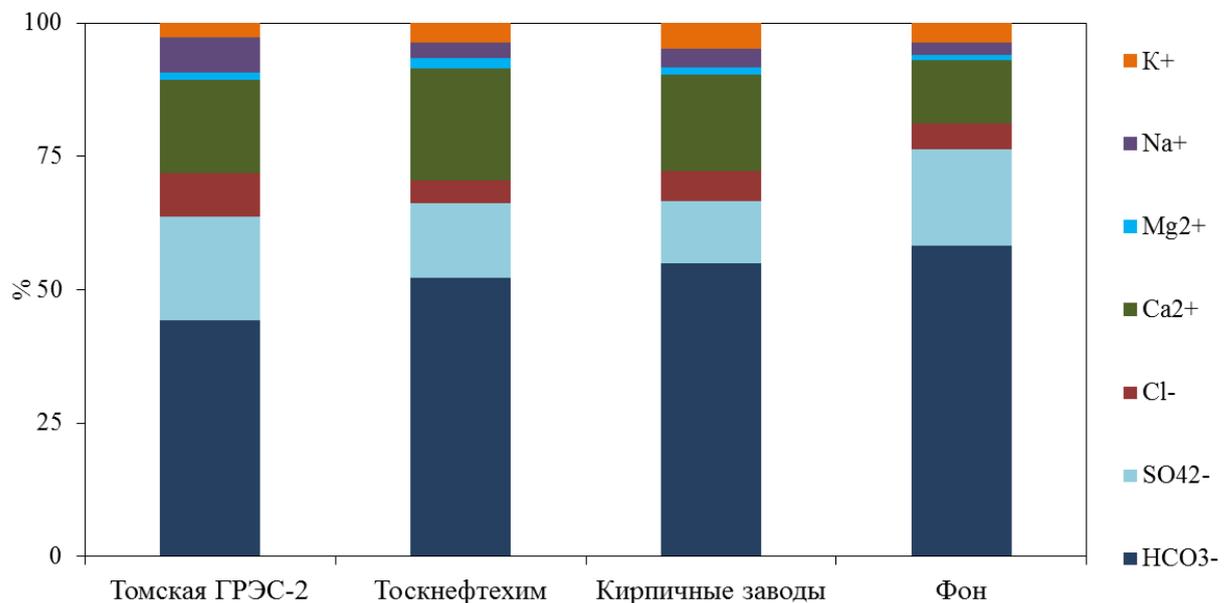


Рисунок 5.8 – Ионный баланс в пробах растворимой фазы снега из окрестностей промышленных предприятий г. Томска за период с 2012 по 2014 гг.

Таблица 5.10– Ионный состав растворимой фазы снега из окрестностей промышленных предприятий г. Томска (2012 – 2014 гг.)

Территория	CO ₂	CO ₃	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	мг/л								
фон	4,05±0,45 *	<3	3,01±0,01	0,91±0,21	0,26±0,03	0,59±0,17	0,04±0,01	0,11±0,03	0,16±0,04
Томская ГРЭС-2	5,18 (3,08 – 7,04) **	<3	10,53 (6,10 – 18,54)	4,62 (1,89 – 14,97)	1,94 (0,64 – 5,00)	4,15 (1,90 – 11,02)	0,31 (0,09 – 0,79)	1,58 (0,53 – 3,78)	0,63 (0,10 – 0,99)
Томскнефтехим	4,09 (2,53 – 4,40)	<3	5,43 (3,00 – 9,76)	1,46 (1,09 – 2,65)	0,44 (0,17 – 1,51)	2,18 (1,53 – 3,40)	0,22 (0,16 – 0,31)	0,30 (0,04 – 1,21)	0,38 (0,03 – 1,50)
Кирпичные заводы	6,74 (3,85 – 17,60)	<3	14,06 (8,30 – 21,35)	2,96 (1,82 – 4,45)	1,46 (0,68 – 2,23)	4,60 (2,95 – 7,06)	0,39 (0,24 – 0,72)	0,86 (0,41 – 1,28)	1,25 (0,50 – 2,62)
Территория	Общая жесткость	Fe ^{общ}	Минерализация	Ок. перм.	Электро- проводность	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁺
	мг-э/л	мг/л		мгO ₂ /дм ³	мS/см	мг/л			
фон	0,03±0,01	0,06±0,01	5,1±0,5	0,37±0,10	0,013±0,001	0,12±0,01	<0,01	1,62±0,10	<0,01
Томская ГРЭС-2	0,23 (0,10 – 0,62)	0,07 (<0,01 – 0,12)	23,77 (12,7 – 52,0)	0,94 (0,32 – 1,48)	0,040 (0,023 – 0,090)	0,80 (0,17 – 2,32)	0,10 (0,03 – 0,23)	1,87 (1,60 – 2,39)	0,04 (0,01 – 0,07)
Томскнефтехим	0,13 (0,09 – 0,20)	0,05 (<0,05 – 0,08)	10,4 (6,2 – 19,2)	1,40 (0,36 – 5,24)	0,015 (0,012 – 0,030)	0,24 (0,08 – 0,59)	0,03 (<0,01 – 0,05)	1,38 (1,12 – 1,50)	0,03 (<0,05 – 0,06)
Кирпичные заводы	0,26 (0,17 – 0,38)	0,08 (<0,05 – 0,15)	25,6 (21,5 – 34,9)	2,52 (1,04 – 6,32)	0,039 (0,027 – 0,049)	1,33 (0,39 – 4,74)	0,15 (0,03 – 0,48)	1,77 (<0,01 – 2,66)	0,08 (0,02 – 0,36)

Примечание: * - среднее арифметическое значение ± стандартная ошибка; ** - среднее арифметическое значение (минимум – максимум)

Опасность кислотного загрязнения сопредельных для снежного покрова сред (почва, водные объекты) представляет свободная серная кислота, находящаяся в снеговых осадках, но она частично может быть нейтрализована солями кальция и магния (карбонатами и гидрокарбонатами), также содержащимися в осадках (Akkoynlu and Tayanc, 2003). На этом основано понятие закисляющего потенциала, характеризующего концентрацию свободных сульфатов в атмосферных осадках (Латыпова и др., 2005). Результаты расчета закисляющего потенциала снеготалой воды в окрестностях предприятий г. Томска в 2013 г. представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Закисляющий потенциал (AP) снеготалой воды в окрестностях промышленных предприятий г. Томска (2013 г.)

Предприятие	Удаленность точки отбора пробы от труб теплоэлектростанции / промышленной площадки завода, м	AP
Томская ГРЭС-2	730	0,4
	1000	0,4
	1300	0,2
	1600	-0,02
	2000	-0,8
Томскнефтехим	300	-0,8
	600	-0,8
	900	-0,7
	1200	-0,6
	1500	-0,5
Кирпичные заводы	200	-3,8
	400	-2,1
	600	-1,3
	800	-2
	1000	-1

В окрестностях Томской ГРЭС-2 установлена тенденция снижения закисляющего потенциала растворимой фазы снега по мере удаления от теплоэлектростанции. В условно ближней зоне воздействия данного объекта теплоэнергетики закисляющий потенциал растворимой фазы снега имеет положительные значения, тогда как в условно дальней зоне происходит нейтрализация содержащейся в растворимой фазе серной кислоты солями

двухвалентных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , и закисляющий потенциал характеризуется отрицательными значениями. Закисляющий потенциал растворимой фазы снега вблизи нефтехимического завода и кирпичных заводов имеет отрицательные значения на всем векторе отбора проб снега, таким образом зафиксированные уровни содержания сульфат-ионов в пробах растворимой фазы снега в окрестностях данных заводов не будут оказывать существенного влияния на закисление сопредельных природных сред.

5.4 Химические элементы в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2

Расчет коэффициентов распределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода», позволил выделить группы химических элементов, различающиеся по соотношению их содержаний в нерастворимой и растворимой фазах снега (таблица 5.12).

К химическим элементам, концентрации которых в растворимой фазе снега выше, чем в нерастворимой, относятся химические элементы с коэффициентом распределения меньше 0; в отдельную группу объединены химические элементы с концентрациями в нерастворимой фазе снега до 10 раз превосходящей их концентрации в растворимой ($0 < \text{коэффициент распределения} < 1$); химические элементы с преобладанием их содержаний в нерастворимой фазе снега от 10 до 20 раз над растворимой отнесены к третьей группе ($1 < \text{коэффициент распределения} < 2$); а те химические элементы, концентрации которых в 20 – 30 раз в нерастворимой фазе снега выше относительно растворимой фазы объединены в отдельную группу ($2 < \text{коэффициент распределения} < 3$). Наибольшее количество химических элементов из рассматриваемого спектра в пробах снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 относятся к группам с коэффициентами распределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» от 0 до 2.

Степень перехода химических элементов из твердых фаз атмосферных аэрозолей в раствор в атмосферных осадках зависит от типа связи элемента с частицами аэрозолей. Так, химические элементы, входящие в состав кристаллической решетки будут менее растворимы в сравнение со слабосвязанными (сорбированными) элементами на поверхности частиц атмосферных аэрозолей (Chester et al., 1993; Desboeufs et al., 2005), что характерно для частиц атмосферных аэрозолей, имеющих техногенное происхождение. Мышьяк, В, Hg, Cl, Cr, Se Cd, Cu, Mo, Sb, V и Zn в процессе охлаждения дымовых газов после сжигания угля конденсируются на поверхности частиц летучей золы, образуя соединения с переменной растворимостью, что приводит как к сильной дифференциации их концентраций в масштабах отдельных частиц зольной пыли, так и

варьированию в широком диапазоне свойств их растворимости (Jones, 1995; Querol et al., 1995; Huggins et al., 2000; Kukier et al., 2003; Goodarzi et al., 2008).

Таблица 5.12 – Коэффициенты распределения химических элементов в системе «твёрдый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях промышленных предприятий г. Томска (2013 – 2014 гг.)

Территория	Коэффициент распределения			
	< 0	0 – 1	1 – 2	2 – 3
Фон	Br, Pb, Cd, Fe, As, Zn, Sb, Sr, W	Mo, Ba, Hg, Ca, K, Ga, Na, Yb, Er, Bi, Be, Ag, Se, Ni, Gd, Tm, U, Sn, Al, Ti	Hf, Dy, V, Cu, Ho, Lu, Ce, Sm, Nd, Tb, Mg, Co, Li, P, Eu, Ge, Zr, Th, Ta, Cr, Nb, Rb, La, Pr, Y, In	Tl, Mn, Cs, Si, Sc
Томская ГРЭС-2	Br, Na, Sb, Ca, Sc, Hg	As, Cd, Zn, K, Mo, P, Mg, Bi, Ni, In, Ge, Co, Mn, Tl, Ba, Rb, Lu, Cu, Tm, Sr, Se, Pb, V, U, Ag, Li, Cr, Sn, W, Tb	Ho, Cs, Be, Ta, Eu, Sm, Dy, Y, Gd, Fe, Yb, Nd, La, Er, Ce, Ga, Pr, Nb, Al, Th, Hf, Ti, Si, Zr	
Томск- нефтехим	Br, Hg, Sb, Se, Ca, As, Sc, Bi, Cd, Ge, In, Mg, Zn	P, Mo, Na, Ni, Rb, Mn, Tl, Tm, Lu, K, Ba, V, Cu, Ag, W, Cr, Pb, U, Co, Sr, Tb, Ho, Eu, Sn, Ga, Be	Cs, Y, Li, Si, Pr, Yb, Er, Sm, La, Gb, Nd, Dy, Fe, Ce, Ta, Hf, Nb, Al, Th, Ti	Zr
Кирпичные заводы	Br, Hg	Sb, As, Ca, P, K, Sc, Mo, Na, Cd, Cu, Zn, Mg, Mn, Tl, Ni, Bi, Se, Sr, Rb	Co, Li, Ag, Ge, Ba, U, V, Cr, In, Pb, Lu, Tm, Sn, Be, Eu, Tb, Y, Gd, Er, Sm, Dy, Ho, Pr, La, Nd, Ce, Yb, Cs, Fe, Al, Ga,	Th, Nb, Hf, Ta, Zr, W, Si, Ti

Барий, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Ti, как правило, более равномерно распределяется между поверхностью и матрицей зольных частиц при сгорании угля, в результате чего характеризуются меньшей растворимостью (Jones, 1995; Warren and Dudas, 1988). Кроме

этого, растворимость металлов зависит от их изначального содержания в атмосферной пыли (Desboeufs et al., 2005).

Для P, Mg, In, Mn, Tl, K, Ge, Co, Ni, Rb, Bi, Cs, Cr, Lu, Cu, Li, Y, Tm, V, Si, Ta, La, Pr, Tb, U, Eu, Br, Hg и Se в пробах снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 установлено уменьшение их коэффициентов распределения между нерастворимой и растворимой фазами снега относительно фона. При этом Fe, Pb, W, Ti, Ga, Sr, Yb, Er, Hf, Al, Zr, Gd, Cd, Ba, Zn и As, большинство из которых установлены как элементы-индикаторы воздействия Томской ГРЭС-2, в пробах снега из окрестностей теплоэлектростанции в сравнении с фоновой территорией характеризуются увеличением коэффициентов распределения, т.е. снижением свойств подвижности в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода».

Для проб снега из окрестностей нефтехимического завода отмечается увеличение коэффициентов распределения Fe, Pb, W, Ti, Sr, Yb, Er, Hf, Al и Zr в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» относительно фона, однако данные изменения являются менее контрастными по сравнению с пробами из окрестностей Томской ГРЭС-2. В то время, как большинство из рассматриваемых химических элементов (Sc, In, Mn, Tl, Si, Ge, Cs, Rb, Se, P, Mg, Hg, Cr, Bi, Y, Ca, Pr, Lu, Eu, Co, V, Cu, Au, Ni, Sb, Tm, Tb, La, Na, Ho и U) в пробах снега из окрестностей нефтехимического завода по сравнению с фоном увеличивают свою подвижность.

Среди всех рассматриваемых территорий в окрестностях промышленных предприятий г. Томска пробы снега из окрестностей кирпичных заводов характеризуются наименьшей подвижностью большинства химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» относительно фона. Так, увеличение коэффициентов распределения отмечается для W, Fe, Pb, Ti, Ga, Hf, Yb, Ba, Sr, Cd, Er, Al, Zn, Zr, Gd, Be, Ta, Ce, Dy, Ho, Nd, Nb, Sm, Th, Ag, Sn, As, Tb, Mo, U, Lu и V в сравнении с фоном; тогда как снижение коэффициента распределения характерно лишь для Sc, Mn, Tl, P, Cs, Rb, In, Hg, Mg и Cu.

Таким образом, обобщение трендов изменения свойств перераспределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» относительно фона в пробах снега из окрестностей различных промышленных предприятий (таблица 5.13), позволяет выделить те химические элементы, изменения подвижности которых происходят однонаправленно и, вероятно, могут быть объяснены их физико-химическими и геохимическими свойствами. В условиях аэротехногенного пресса на территорию увеличение коэффициентов подвижности (т.е. снижение свойств подвижности) в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» характерно для Fe, Pb, W, Ti, Sr, Yb, Er, Hf, Al и Zr, а снижение коэффициентов для P, Mg, In, Mn, Tl, Rb, Cu, Cs и Hg. Однако ввиду

наложения общих геохимических, физико-химических факторов и фактора геохимической специфики аэротехногенного воздействия на различные территории контрастность уменьшения/увеличения свойств подвижности химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» относительно фона может варьироваться.

Таблица 5.13 – Изменения распределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» относительно фона в окрестностях промышленных предприятий г. Томска (2013 – 2014 гг.)

Территория	Химические элементы, уменьшающие коэффициент распределения относительно фона	Химические элементы, увеличивающие коэффициент распределения относительно фона
Томская ГРЭС-2	P, Mg, In, Mn, Tl, K, Ge, Co, Ni, Rb, Bi, Cs, Cr, Lu, Cu, Li, Y, Tm, V, Si, Ta, La, Pr, Tb, U, Eu, Br, Se	Fe, Pb, W, Ti, Ga, Sr, Yb, Er, Hf, Al, Zr, Gd, Cd, Ba, Zn, As
Томск-нефтехим	Sc, In, Mn, Tl, Si, Ge, Cs, Rb, Se, P, Mg, Hg, Cr, Bi, Y, Ca, Pr, Lu, Eu, Co, V, Cu, Ni, Sb, Tm, Tb, La, Na, Ho, U.	Fe, Pb, W, Ti, Sr, Yb, Er, Hf, Al, Zr
Кирпичные заводы	Sc, Mn, Tl, P, Cs, Rb, In, Hg, Mg, Cu	W, Fe, Pb, Ti, Ga, Hf, Yb, Ba, Sr, Cd, Er, Al, Zn, Zr, Gd, Be, Ta, Ce, Dy, Ho, Nd, Nb, Sm, Th, Ag, Sn, As, Tb, Mo, U, Lu, V

На фоне общих закономерностей были выделены индивидуальные индикаторные изменения величин распределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в зависимости от типа промышленности, оказывающего воздействие на территорию. Для проб снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 индикаторным является уменьшение коэффициента распределения K, Li, Ta, Br; для проб снега из окрестностей нефтехимического завода – уменьшение коэффициента распределения Ca, Ni, Sb, Na, Ho; для проб снега из окрестностей кирпичных заводов – увеличение коэффициента распределения Be, Ta, Ce, Dy, Ho, Nd, Nb, Sm, Th, Ag, Sn, Tb, Mo, U, Lu и V.

Высоко подвижными химическими элементами в снежном покрове из окрестностей Томской ГРЭС-2 по данным расчетов коэффициентов подвижности являются Ca, Sb, Na, As ($K_{\text{подв}} > 5$), также подвижными элементами в системе «твердый осадок снега –

снеготалая вода» ($1 < K_{\text{подв}} < 5$) являются Ni, Bi, Se, Mo, In, K, Cd, Zn, P, Lu, Mg, Tm, Ag, Sr, Ge, Tl, Co, Ba, Mn; средняя подвижность ($0,5 < K_{\text{подв}} < 1$) установлена для Cu, Tb, Ho, Pb, Cr, U, Eu, Rb, Li, V; а группу инертных химических элементов ($0,04 < K_{\text{подв}} < 1$) составляют Be, Sn, W, Ta, Cs, Yb, Er, Dy, Sm, Hf, Gd, Y, Ga, Fe, Nd, La, Pr, Ce, Th, Al, Nb, Zr и Ti.

Полученные нами результаты установили большую подвижностью Sb, As, Cd, Bi, Ag, Tl в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» по сравнению с данными о подвижности перечисленных химических элементов в окрестностях теплоэлектростанций г. Новосибирска (Артамонова и др., 2007), тогда как подвижность Fe, Th и K выше в окрестностях ТЭЦ Новосибирска, а свойства подвижности Ca, Na, Cu, Pb, Sn находятся на одном уровне как в окрестностях ТЭЦ г. Новосибирска (Артамонова и др., 2007), так и в окрестностях Томской ГРЭС-2.

В сравнении с фоновой территорией (пос. Киреевск) подвижность большинства химических элементов из рассматриваемого спектра в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2 снижена, хотя их последовательность в ряду подвижностей в целом сохраняется.

По балансовым соотношениям между количествами взвешенной и растворенной форм нахождения химических элементов в снеговом покрове в окрестностях Томской ГРЭС-2 все проанализированные элементы делятся на пять групп: с высоким преобладанием растворенной формы ($> 75\%$ от общей массы в снеге) над взвешенной ($< 25\%$ от общей массы в снеге) – Br, Na, Sb; с умеренным преобладанием растворенной формы ($50 - 75\%$ от общей массы в снеге) над взвешенной ($25 - 50\%$ от общей массы в снеге) – Ca, Mo; с умеренным преобладанием взвешенной формы ($50 - 75\%$ от общей массы в снеге) над растворенной ($25 - 50\%$ от общей массы в снеге) – Cd, Zn, K, Sc, As, Bi, Hg, Mg, P, Sr, Co, Ge, Ba, Mn, Tl и Ni; с высоким преобладанием взвешенной формы ($75 - 90\%$ от общей массы в снеге) над растворенной ($25 - 10\%$ от общей массы в снеге) – In, Cu, Lu, Pb, Tm, V, U, Cr, Rb, Ag, Se, Sn; с очень высоким преобладанием взвешенной формы ($> 90\%$ от общей массы в снеге) над растворенной ($< 10\%$ от общей массы в снеге) – Cs, W, Tb, Ho, Ta, Sm, Eu, Y, Dy, Gd, Fe, Nd, Yb, La, Ga, Pr, Er, Ce, Al, Th, Nb, Hf, Zr, Ti (рисунок 5.9).

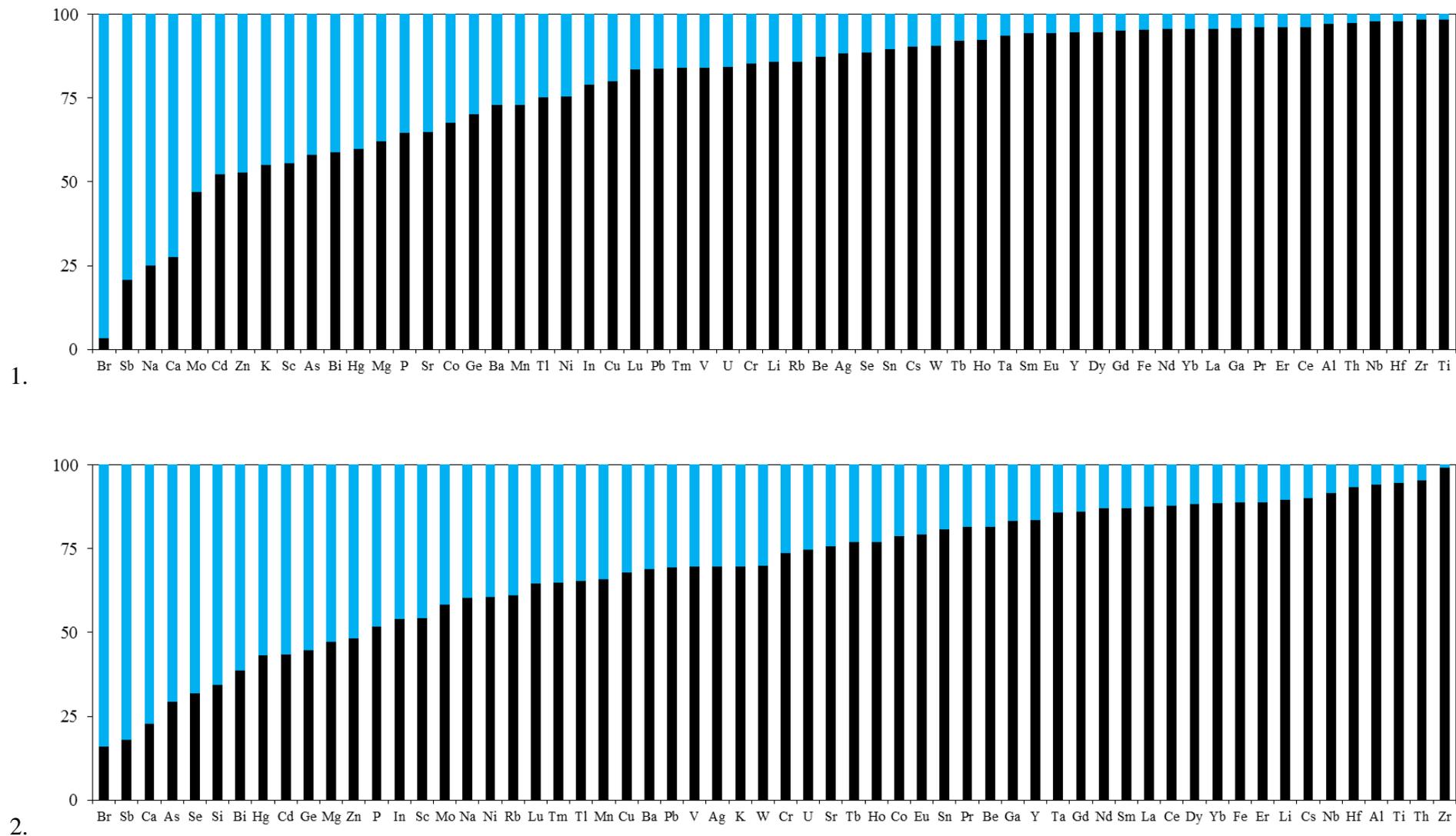


Рисунок 5.9 – Балансовое соотношение химических элементов между снеготалой водой и нерастворимым осадком снега в составе проб снега из окрестностей промышленных предприятий г. Томска (2013-2014 гг.) (начало)

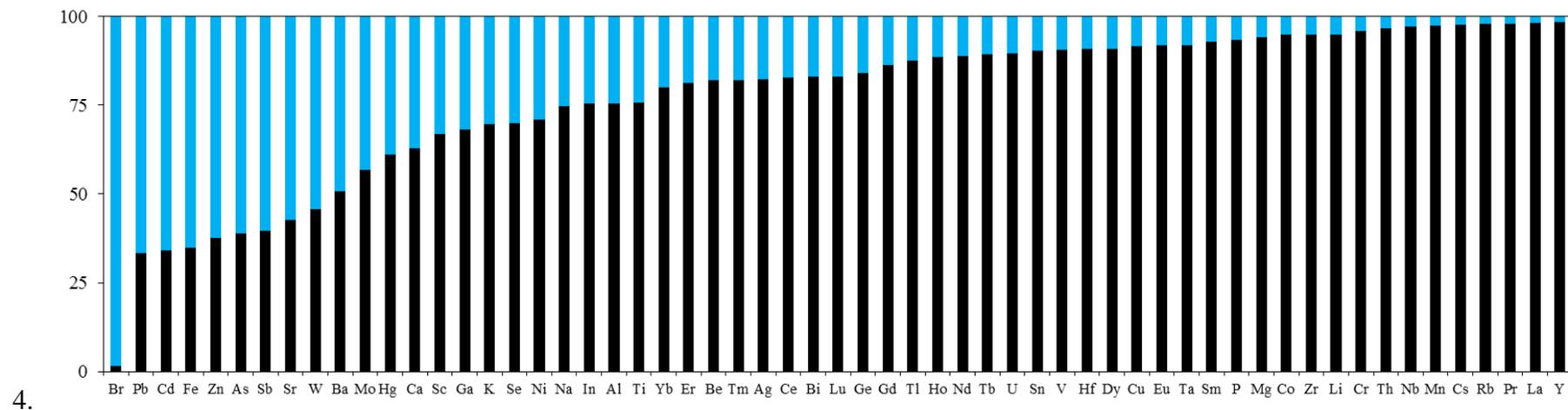
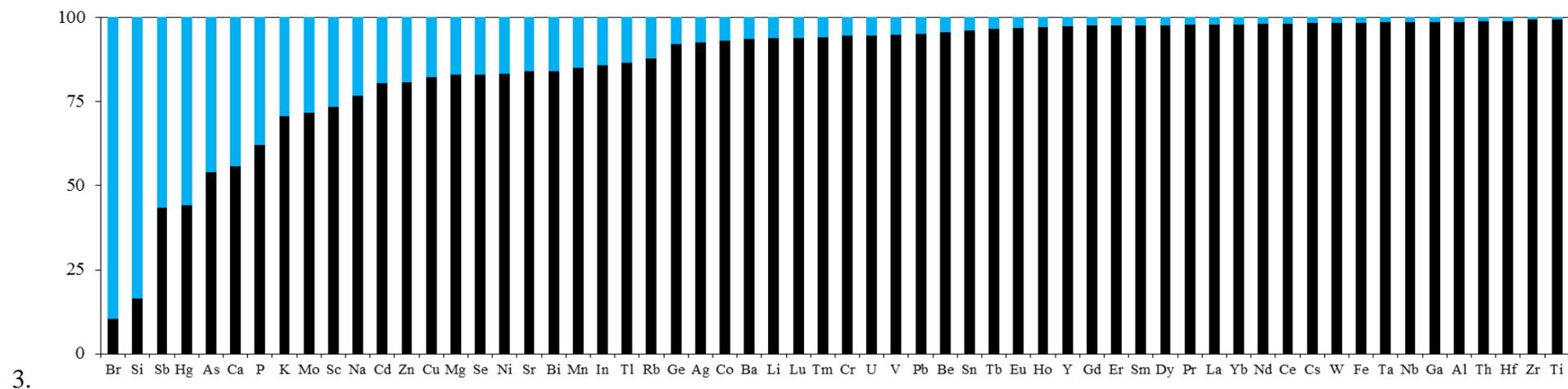


Рисунок 5.9 – Балансовое соотношение химических элементов между снеготалой водой и нерастворимым осадком снега в составе проб снега из окрестностей промышленных предприятий г. Томска (2013-2014 гг.) (окончание);
1 – Томская ГРЭС-2, 2 – Томскнефтехим, 3 – Кирпичные заводы, 4 – фон (пос. Киреевск, 70 км от г. Томск)

В сравнении с фоном (пос. Киреевск) доли взвешенных форм нахождения Fe, Pb, W, Cd, Sr, As, Ba, Ga, Zn, Ti, Se, Yb, Er и Ce в 1,2 – 2,7 раза, а доли растворенных форм Na, Ca, Mg, P, Co, Mn, K в 1,3 – 3,0 раза выше в снеге из окрестностей Томской ГРЭС-2. В целом, в пробах снега из окрестностей нефтехимического завода установлена наибольшая доля растворенной формы нахождения химических элементов в сравнении с другими рассматриваемыми территориями. Это, вероятно, может быть обусловлено высокой растворяющей способностью ультрапресной снеготалой воды при наименьшем притоке атмосферных пылевых частиц с комплексом химических элементов на снежный покров, так как данная территория в сравнении с окрестностями других промышленных предприятий характеризуется наименьшими величинами пылевой нагрузки (таблица 5.1). Тогда как наименьшая балансовая доля растворенной формы нахождения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» наблюдается в пробах снега из окрестностей кирпичных заводов, где на протяжении с 2009 по 2014 гг. установлено наиболее интенсивное пылевое загрязнение снежного покрова

Аналогично нашим данным изучение свежес выпавших снеговых осадков в Шотландии (Jickells et al., 1992) показали, что Sb, Br и Zn содержатся преимущественно в растворенной форме (более 90% от общей массы в снеге растворено), Al является нерастворимым химическим элементом, однако растворимость Al, содержащегося в частицах, выбрасываемых при процессах высокотемпературного сжигания, повышается (Raask and Goetz, 1981), а Ba, Rb, Mn и Cu характеризуются промежуточной растворимостью – от 21 до 89%. Изучение свойств растворимости Al, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Ni, Ti, V, Zn и As в атмосферных осадках в Сингапуре (Joshi and Balasubramanian, 2010) показало, что для различных металлов растворенная доля составляет от 1,1 до 47,7%, наименее растворимыми являются Fe, Al, Zn и Ti.

По оценке Юшкан Е.И. в аэрозолях фоновых территорий доля водорастворимых форм атмосферного свинца составляет 11–32%, Zn – 15–66%, As – 28–58%, Ni – 39–50%, Cd – 43–82% (Юшкан, 1991).

Исследования снежного покрова на территории национального парка «Лосиный остров» (Московский регион) показало, что доля взвешенной формы Pb, Co в снеге более чем в 10 раз превышает их доли в растворенной, также высокие превышения взвешенных форм (от 5 до 10 раз) установлены для Cu, Ni; Zn, Mn, Cr в умеренной степени (от 2 до 5 раз) преобладают в форме взвеси в снеге, тогда как Ag примерно равномерно распределен между взвешенной и растворенной формами, а явное преобладание растворенной формы установлено для Cd (Маркова, 2003). В снежном покрове на территории Иркутско-Черемховской равнины было установлено, что Ca, Sr, Mg, Ba, Mn обладают высокой растворимостью и содержатся

преимущественно в растворимой форме, тогда как Si, Fe, Ti, Cu, Ni, Co, Cr, V, Pb наоборот – в основном содержатся в составе нерастворимых взвесей (Нечаева и Макаров, 1996). В окрестностях Оловокомбината и ТЭЦ-5 г. Новосибирска в снежном покрове для Br, Sb, As, Mo, Se, Ca, Sr, I установлена высокая подвижность в системе «взвесь – раствор»; для Cu, Zn, Sn, Ni, V – средняя подвижность, в то время как Zr, Pb, Nb, Mn, Ti и Fe являются инертными химическими элементами (Бортникова и др., 2009).

Химические элементы, обладающие высокой растворимостью, не входят в состав кристаллических решеток частиц, взвешенных в талой снеговой воде, а скорее ассоциированы с веществом на поверхности данных частиц, что говорит о поступлении таких растворимых элементов в газовой фазе от источников высокотемпературного сжигания и их последующего сорбирования на поверхности аэрозольных частиц (Shendrikar and Ensor, 1986), так как химические элементы, поступающие в атмосферный воздух от антропогенных источников более растворимы в осадках (Voutsas and Samara, 2002). При этом низкая растворимость химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» при относительно высоком факторе обогащения взвесей данными химическими элементами может свидетельствовать, что эти химические элементы в составе нерастворимой фазы снега связаны с нерастворимым органическим веществом (Mating and Duce, 1989).

6 МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ НЕРАСТВОРИМОЙ ФАЗЫ СНЕГА В ОКРЕСТНОСТЯХ ТОМСКОЙ ГРЭС-2

Исследование минерального состава атмосферных аэрозольных частиц, накопленных в снежном покрове или осевших на планшеты, представляет большой интерес с позиций идентификации источников их поступления в окружающую среду (Post and Buseck, 1984; Шатилов, 2001; Артамонова и др., 2007; Таловская, 2008). В свою очередь идентификация происхождения аэрозольных частиц является одной из актуальных проблем исследования атмосферного аэрозоля (Донченко и Ивлев, 2003; Аэрозоли..., 2006).

Под термином «минеральные частицы» нами подразумеваются соединения с кристаллической структурой, имеющие природное происхождение (эрозия берегов рек, трансграничный перенос эолового материала, дальний перенос почвенных частиц) и техногенное происхождение (выбросы предприятий стройиндустрии, топливно-энергетического комплекса и др., противогололедные мероприятия). Данная классификация минеральных частиц аналогична используемой в работе (Song et al., 2014). «Техногенными образованиями» в работе называются фазы, полученные в производственных процессах и содержащиеся в пылевых выбросах промышленных предприятий.

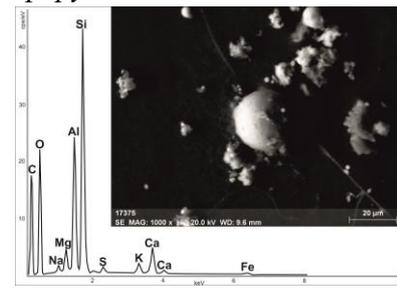
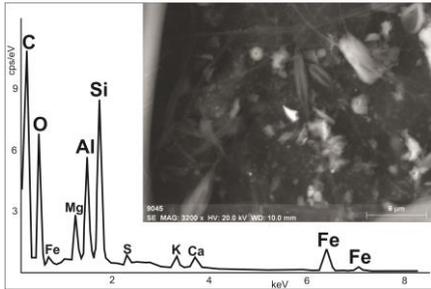
6.1 Микроминеральный состав взвешенных атмосферных частиц и нерастворимой фазы снега на территории г. Томска

На территории полигона «Фоновый» ИОА СО РАН, рядом с пос. Киреевск и на территории наблюдательной станции Института оптики атмосферы Сибирского отделения Российской Академии наук в Академгородке г. Томска был проведен анализ микроминерального состава собранных при прокачке атмосферного воздуха на фильтры взвешенных частиц и частиц, осевших на снеговой покров, который позволил выявить, что в большей степени их микроминеральные составы идентичны (Таловская и др., 2014). Так, в пробах взвешенных в воздухе частиц и в пробах нерастворимой фазы снега на территории Академгородка г. Томска установлены минералы группы алюмосиликатов (кварц, полевые шпаты, слюды и глинистые минералы), барит, алюмосиликатные и металлические микросферулы, оксиды железа и сурьмы, частицы угольной пыли (рисунок 6.1).

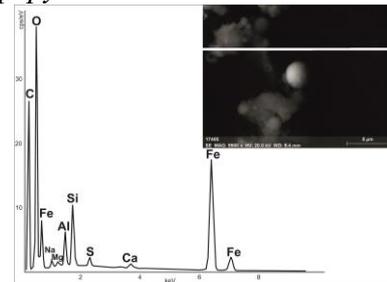
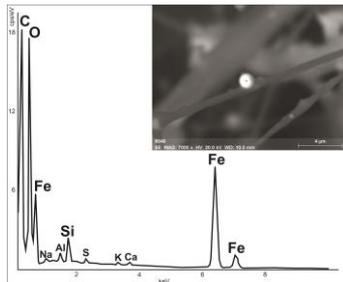
Взвешенные в воздухе частицы

Нерастворимая фаза снега

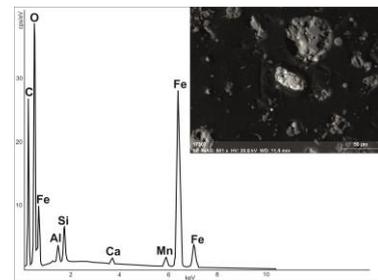
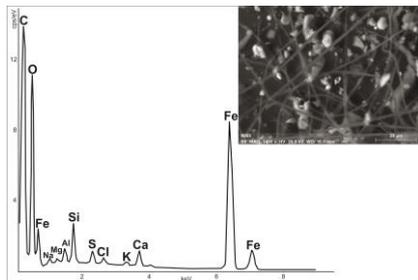
Алюмосиликатные микросферулы



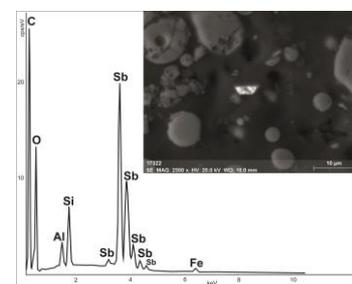
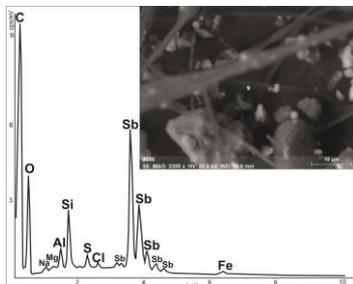
Металлические микросферулы



Оксиды железа



Оксиды сурьмы



Ортоклаз

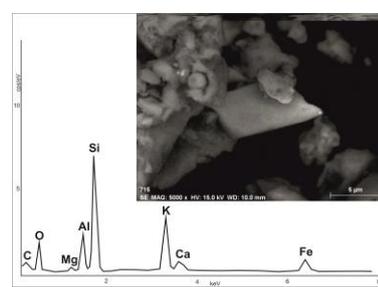
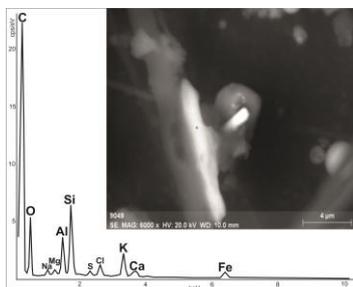


Рисунок 6.1 – Минеральные частицы природного и техногенного происхождения и техногенные образования в пробах пылевых атмосферных аэрозолей и нерастворимой фазы снега на территории Академгородка г. Томска

6.2 Минерально-вещественный состав нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 и других промышленных предприятий г. Томска

Пробы нерастворимой фазы снега из окрестностей различных промышленных предприятий г. Томска – теплоэлектростанции, нефтехимического завода и кирпичных заводов, значительно отличаются от фоновой пробы (пос. Киреевск) и между собой по соотношению кристаллической и аморфной фаз в их составе. По данным рентгеноструктурного анализа с последующей расшифровкой дифрактограмм с использованием ПО Diffrac.eve и Toras установлено, что пробы нерастворимой фазы снега, отобранные на фоновой территории (пос. Киреевск) и в окрестностях кирпичных заводов, полностью представлены кристаллическими фазами. Тогда как для проб нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 характерно присутствие в образцах около 35% аморфного вещества, а для проб из окрестностей нефтехимического завода – практически 50% аморфной составляющей (рисунок 6.2).

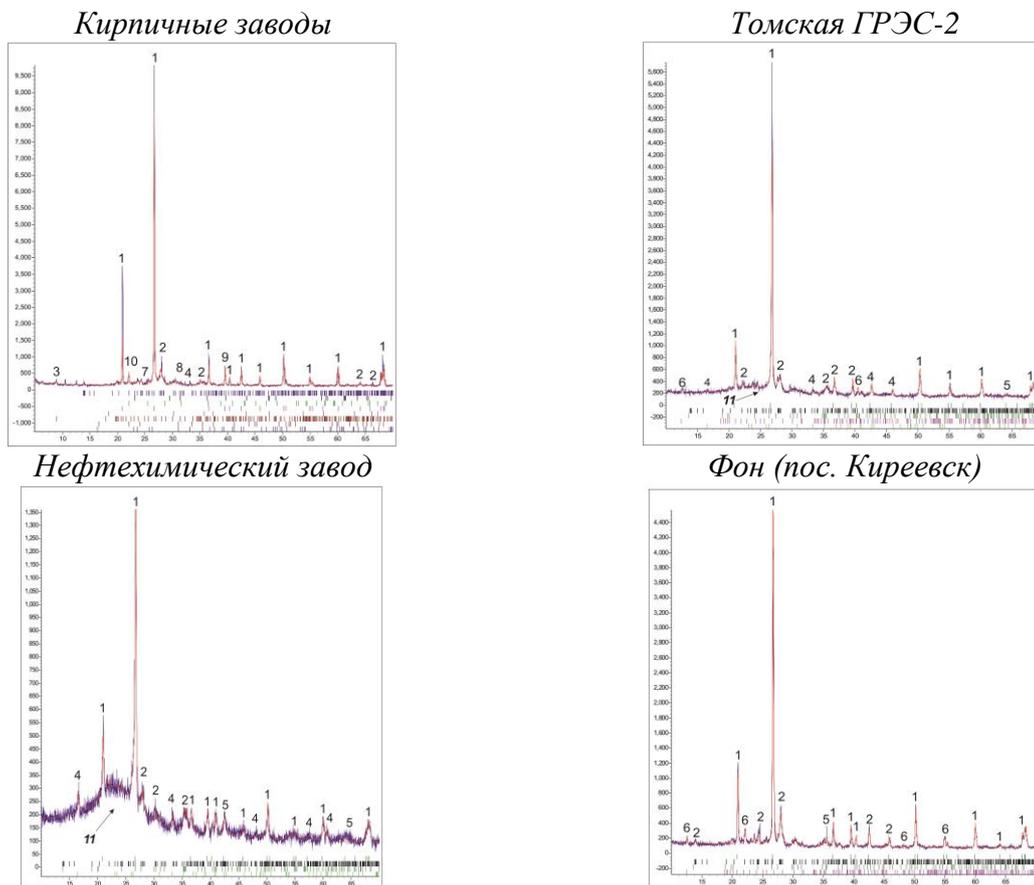


Рисунок 6.2 – Дифрактограммы нерастворимой фазы снега из окрестностей промышленных предприятий г. Томска и фоновой территории

Кристаллические фазы (1 – 10): 1 – кварц, 2 – альбит, 3 – мусковит, 4 – муллит, 5 – диопсид, 6 – хлорит, 7 – доломит, 8 – магнетит, 9 – кальцит, 10 – кристобалит; 11 – аморфное гало

Аморфное вещество в пробах нерастворимой фазы снега, отобранного в окрестностях теплоэлектростанции (около 35%), представляет собой частицы угольной пыли и/или сажистое вещество. Это аналогично данным по изучению нерастворимой фазы снега в окрестностях объектов теплоэнергетики в г. Новосибирске, где также было установлено высокое содержание аморфной фазы, представленной продуктами неполного сгорания угля – тонкодисперсными частицами стекла и углерода (Артамонова и др., 2007). Исследования Сонга с соавторами золы угольной теплоэлектростанции г. Пиндиншань (Китай) показали, что в ее составе около 20% приходится на аморфное сажистое вещество (Song et al., 2014).

Процентное содержание частицы угольной пыли и/или сажистого вещества в нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2, согласно результатам микроскопического изучения проб по запатентованной методике (Языков и др., 2004), составляет 28-31% (таблица 6.1), что хорошо соотносится с данными определения аморфного вещества рентгеноструктурным анализом. Таким образом, частицы угольной пыли и сажистого вещества определены как преобладающие компоненты проб нерастворимой фазы снега вблизи Томской ГРЭС-2.

Таблица 6.1 – Вещественный состав нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 в период с 2009 по 2014 гг. (данные микроскопического изучения)

Год	Кварц	Полевые шпаты	Биогенные частицы	Сажистое вещество, угольная пыль	Шлак, зола	Al-Si сферулы	Ферросферулы	Волокнистые частицы	Цементная пыль	Карбонаты
2009	15	5	-	31	22	16	6	1	-	4
2010	17	4	1	30	18	17	9	3	1	-
2011	18	2	1	29	25	14	7	2	-	2
2012	20	4	2	32	21	13	4	2	1	1
2013	24	2	3	37		21	5	8	-	-
2014	22	3	1	28	15	18	5	5	-	3

Вклад в аморфную компоненту в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей нефтехимического завода помимо частиц сажистого вещества (12-20%), вероятно, вносят белые

бесформенные частицы (12-29%), предположительно являющиеся частицами полипропилена и/или полиэтилена (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Вещественный состав нерастворимой фазы снега в окрестностях нефтехимического завода в период с 2009 по 2014 гг. (данные микроскопического изучения)

Год	Кварц	Полевые шпаты	Биогенные частицы	Сажка, уголь	Шлак, зола	Al-Si сферулы	Ферросферулы	Волокнистые частицы	Белые бесформенные частицы (вероятно пыль полипропилена и/или полиэтилена)	Карбонаты
2009	20	3	-	20	25	9	4	4	15	-
2010	15	2	1	18	21	15	4	5	16	3
2011	19	6	1	16	25	10	3	8	12	-
2012	15	3	2	18	21	8	2	8	22	1
2013	18	3	-	14	18	6	3	9	29	-
2014	17	5	-	12	20	15	2	6	23	-

Основные (матричные) кристаллические фазы, входящие в состав проб нерастворимой фазы снега из окрестностей рассматриваемых промышленных предприятий г. Томска и проб с фоновой территории представлены в таблице 6.3. Основными минералами в составе проб являются кварц и альбит (Филимоненко и др., 2014). Их суммарное процентное содержание в фоновой пробе нерастворимой фазы снега составляет 92,8%, а в пробах из окрестностей рассматриваемых промышленных предприятий – от 56,8 до 82,2%.

Повышенное содержание муллита установлено в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2. Это происходит в результате выбросов муллита, который образуется при перекристаллизации алюмосиликатных компонентов, входящих в состав сжигающегося на теплоэлектростанции угля (Кизильштейн и др., 1995). При этом муллит, поступающий в компоненты окружающей среды с выбросами объектов угольной теплоэнергетики, обычно совместно со стеклофазой и кварцем входит в состав сферических образований (Кизильштейн и др., 1995; Природа..., 2001), которые являются индикаторами техногенного воздействия промышленных объектов данной отрасли (Querol et al., 1996; Природа..., 2001).

Таблица 6.3 – Минеральный состав нерастворимой фазы снега из окрестностей промышленных предприятий г. Томска (данные рентгеноструктурного анализа), %

Минералы	Окрестности промышленных предприятий			Фон
	Томская ГРЭС-2	Кирпичные заводы	Томск-нефтехим	
Кварц	59,7	54,4	49,9	63,7
Альбит	14,1	27,8	6,9	29,1
Мусковит	-	11,7	-	-
Муллит	12	1,6	34,9	-
Диопсид	8,1	-	8,3	3,6
Хлорит	6,1	-	-	3,6
Доломит	-	1,6	-	-
Магнетит	-	1,4	-	-
Кальцит	-	1,2	-	-
Кристобалит	-	0,3	-	-

Повышенное содержание муллита в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей нефтехимического завода, вероятно, может быть связано с тем, что в технологическом процессе при полимеризации этилена и пропилена в качестве вещества-носителя катализаторов используется каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), который в условиях высокотемпературного воздействия кристаллизуется в муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) (Glass, 1954; Кизильштейн и др., 1995). В связи с этим пылевые выбросы нефтехимического завода могут содержать кристаллические фазы муллита, который затем накапливаться в депонирующих средах (в снежном покрове) в окрестностях нефтехимического производства. Однако кроме этого достаточно высокие уровни содержания в пробах муллита могут быть обусловлены наложением воздействия на данную территорию также со стороны угольно-газовой Северной теплоэлектростанции, входящий в структуру Сибирского химического комбината. А также высокие процентные содержания в пробах нерастворимой фазы из окрестностей нефтехимического завода частиц сажи, угля, шлака (таблица 6.2), которые типичны для окрестностей объектов теплоэнергетической отрасли, указывают на подверженность данной территории аэротехногенному воздействию со стороны теплоэлектростанции г. Северска, а также вероятному ветровому переносу загрязняющих веществ со стороны г. Томска.

Минеральный состав проб нерастворимой фазы снега из окрестностей кирпичных заводов представлен наибольшим количеством различных типов минералов в сравнении с другими рассматриваемыми территориями вблизи промышленных предприятий г. Томска.

Установленные по данным рентгеноструктурного анализа кристаллические фазы в составе нерастворимой фазы снега из окрестностей кирпичных заводов являются типичными для глин и суглинков, используемых в качестве сырья при изготовлении кирпича. В результате процессов пыления мест складирования сырья, пыления при измельчении и транспортировке сырья, данные минеральные частицы могут поступать в атмосферный воздух и далее накапливаться в снежном покрове в окрестностях заводов. Исследования кристаллических фаз в составе атмосферных пылевых частиц в зоне размещения кластера предприятий керамической индустрии в Испании (Pardo et al., 2012) выявили, что слюда, кварц и каолинит являются основными компонентами пылевых частиц. Эти кристаллические фазы поступают в атмосферный воздух от антропогенных источников, связанных с дроблением и фрагментацией глины при изготовлении керамической продукции. Результаты, полученные Ф. Пардо с соавторами (Pardo et al., 2012) согласуется с нашим предположением об источнике повышенных содержаний мусковита, кварца и альбита в составе нерастворимой фазы снега из окрестностей кирпичных заводов, связанном с технологическими процессами на кирпичных заводах г. Томска.

6.3 Микроминеральные формы нахождения металлов и металлоидов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2

Исследования нерастворимой фазы снега с использованием метода растровой электронной микроскопии и микрозондового анализа позволили выделить микроминеральные частицы природного и техногенного происхождения и техногенные образования в составе проб, которые присутствуют в них в количествах значительно ниже чем так называемые «матричные» минералы (таблица 6.4).

В нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 обнаружены частицы самородного титана (размер частиц около 100 мкм), железа (размер частиц от 5 до 11 мкм), меди (размер частиц 8 мкм), серебра (размер частиц 3,5 мкм), свинца (размер частиц 2,6 мкм) (рисунок 6.3). Кроме этого, в пробах из д. Наумовка, расположенной в северо-восточной зоне относительно Томск-Северской промышленной агломерации, обнаружены частицы металлического вольфрама (размер частиц 1,2 мкм) и цинка (размер частиц от 4 до 54 мкм), которые также были обнаружен в пробах нерастворимой фазы снега из зоны воздействия кирпичных заводов (рисунок 6.4).

В составе нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 установлены частицы интерметаллического вольфрам-титан-железистого состава (W – 66,2 мас.%, Ti – 26,9 мас.%, Fe – 6,9 мас.%); размер частиц составляет от 1,4 до 1,6 мкм.

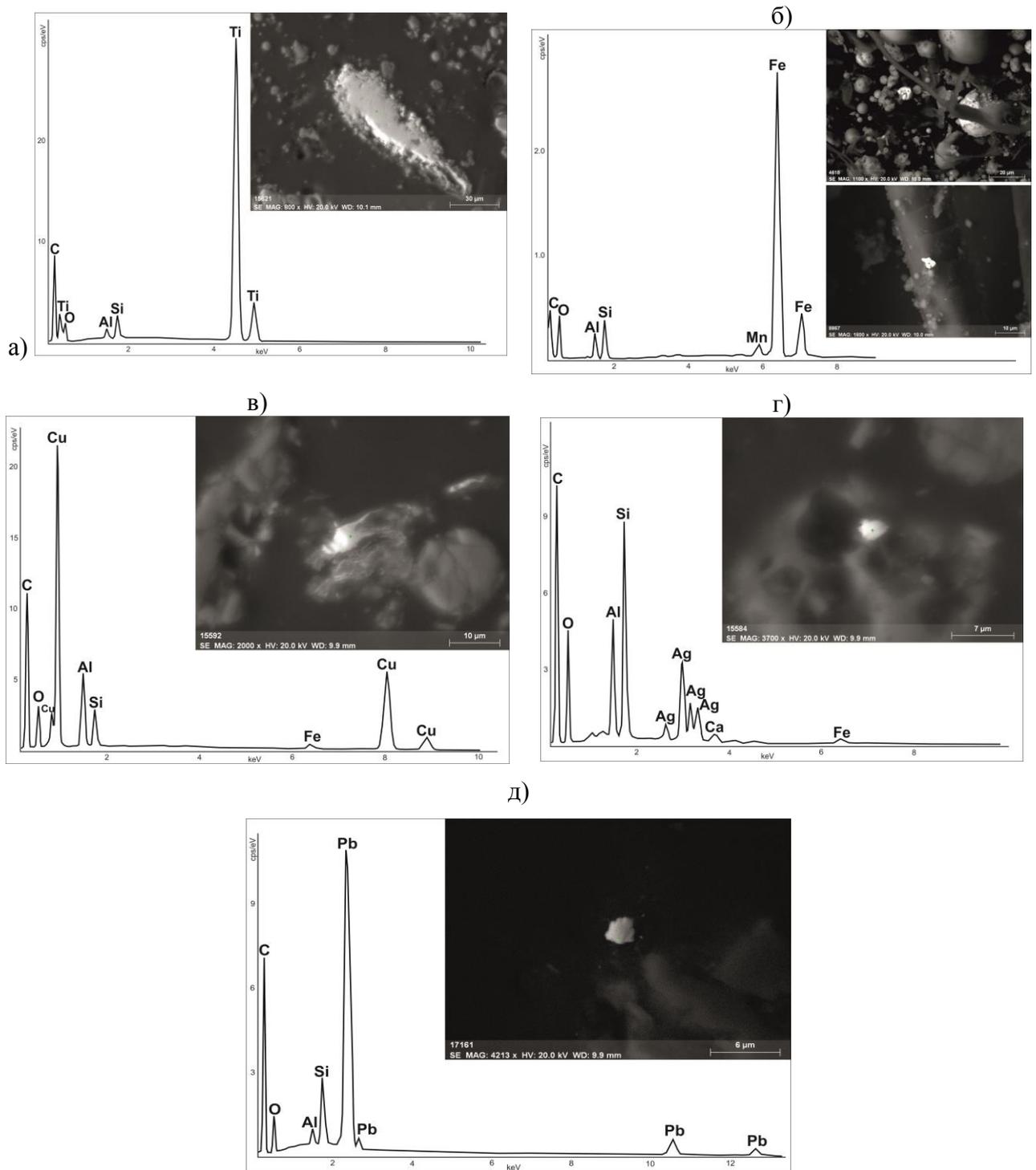


Рисунок 6.3 – Самородные металлы (а – титан, б – железо, в – медь, г – серебро, д – свинец) в нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2

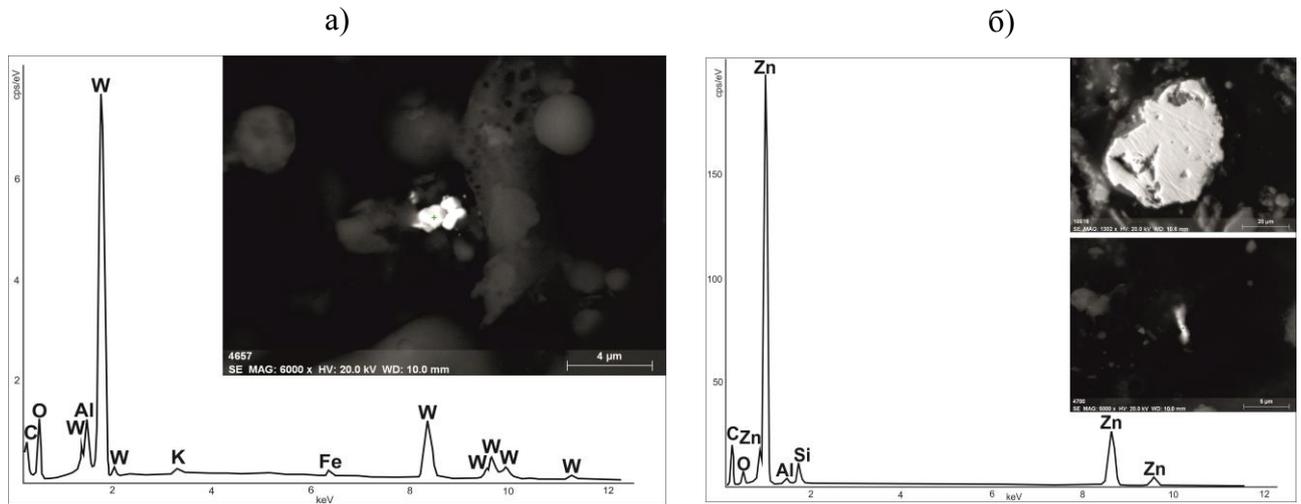


Рисунок 6.4 – Самородные металлы (а – вольфрам, б –цинк) в нерастворимой фазе снега

В тоже время интерметаллические частицы вольфрам-титанового состава, в которых содержание W по массе составляет 75,8 мас.%, а Ti – 24,2 мас.%; частицы Fe-Cr состава (массовое содержания Fe – 85,2 мас.%, Cr – 14,8 мас.%, размер частиц, размер 22 мкм), Cr-Fe состава (массовое содержания Cr – 82,2 мас.%, Fe – 17,8 мас.%), интерметаллические соединения Fe-Cr-Ni (Fe – 73,6 мас.%, Cr – 17,1 мас.%, Ni – 9,2 мас.%, размер частиц, размер частиц 1,5 мкм), частицы W-Ti и W-Ti-Fe (1,4 – 1,6 мкм), Cu-Zn (содержание Cu 64,1 мас.%, Zn 35,9 мас.%, размер частиц 3,8 мкм), Ni-Zn (массовое содержания Ni – 97,8 мас.%, Zn – 2,2 мас.%, размер частиц 2,6 мкм); Cu-Ni-Cr (15 мкм) и частицы Cu-Ni-Zn-Mn состава (2,6 мкм) обнаружены в пробах из д. Наумовка; интерметаллические соединения Cu-Sn с содержанием Cu и Sn в количестве 96,8 мас.% и 3,2 мас.% соответственно (размер частиц от 1,2 до 2 мкм), частицы Cu-Sn-Fe (Cu – 77,1 мас.%, Sn – 16,4 мас.%, Fe – 6,5 мас.%) размером 1,6 мкм – на фоновой территории в пос. Киреевск (рисунок 6.5, рисунок 6.6).

Наличие пиков, соответствующих C, Al, Si и O в энергодисперсионных спектрах частиц самородных элементов и частиц интерметаллического состава, а также завышенные интенсивности этих элементов в спектрах остальных типов минеральных частиц связаны с параметрами проведения исследований: напыление исследуемых образцов нерастворимой фазы снега углеродом для предотвращения накопления электрического заряда на поверхности образца; исследования частиц в режиме обратно-рассеянных электронов в низком вакууме, что при условии малых размеров частиц приводит к записи спектра с области, захватывающей и «матрицу» образца (т.е. различные Al-Si-O фазы).

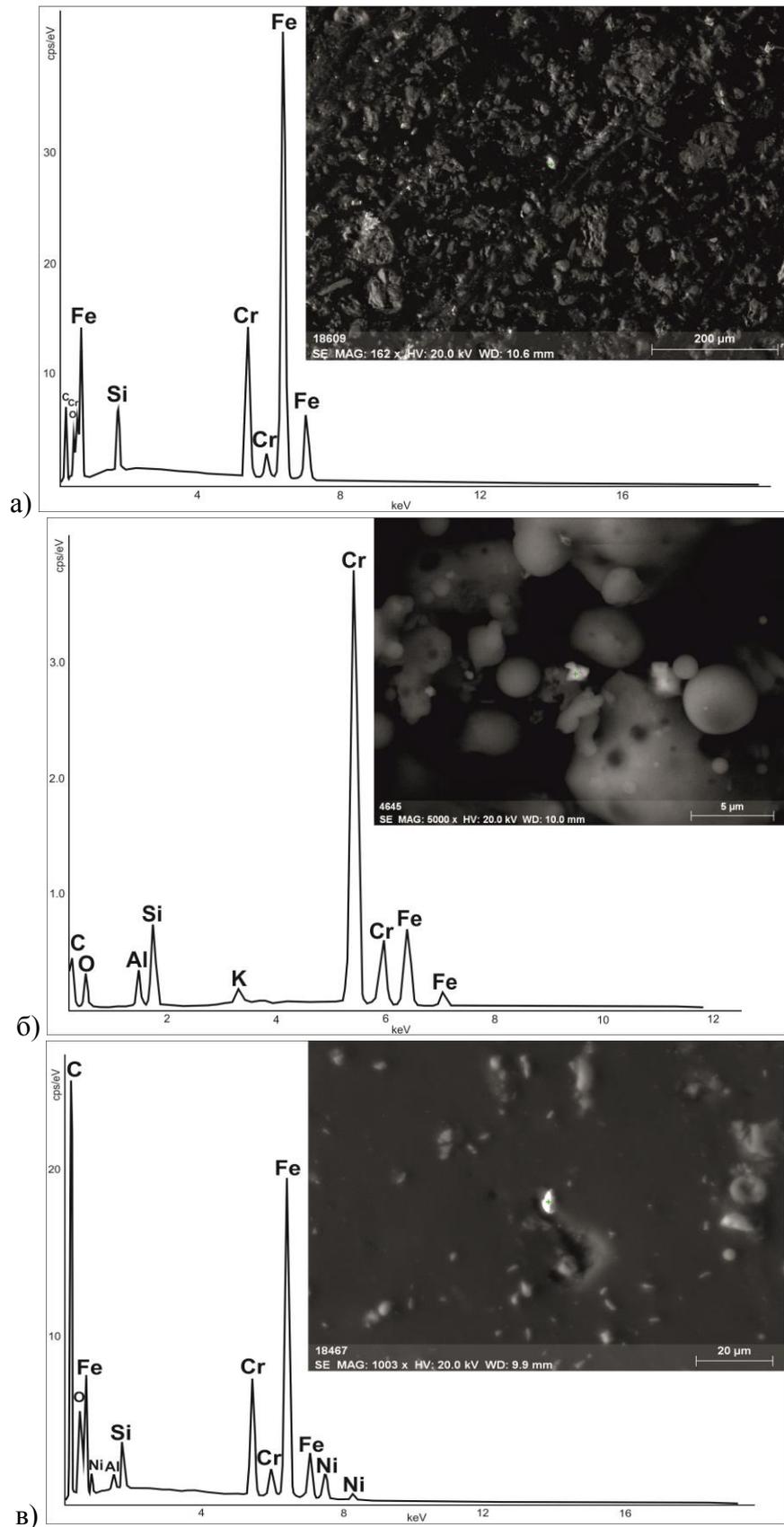


Рисунок 6.5 – Частицы интерметаллического состава в пробах нерастворимой фазы снега
(а – Fe - Cr; б – Cr - Fe; в – Fe - Cr - Ni)

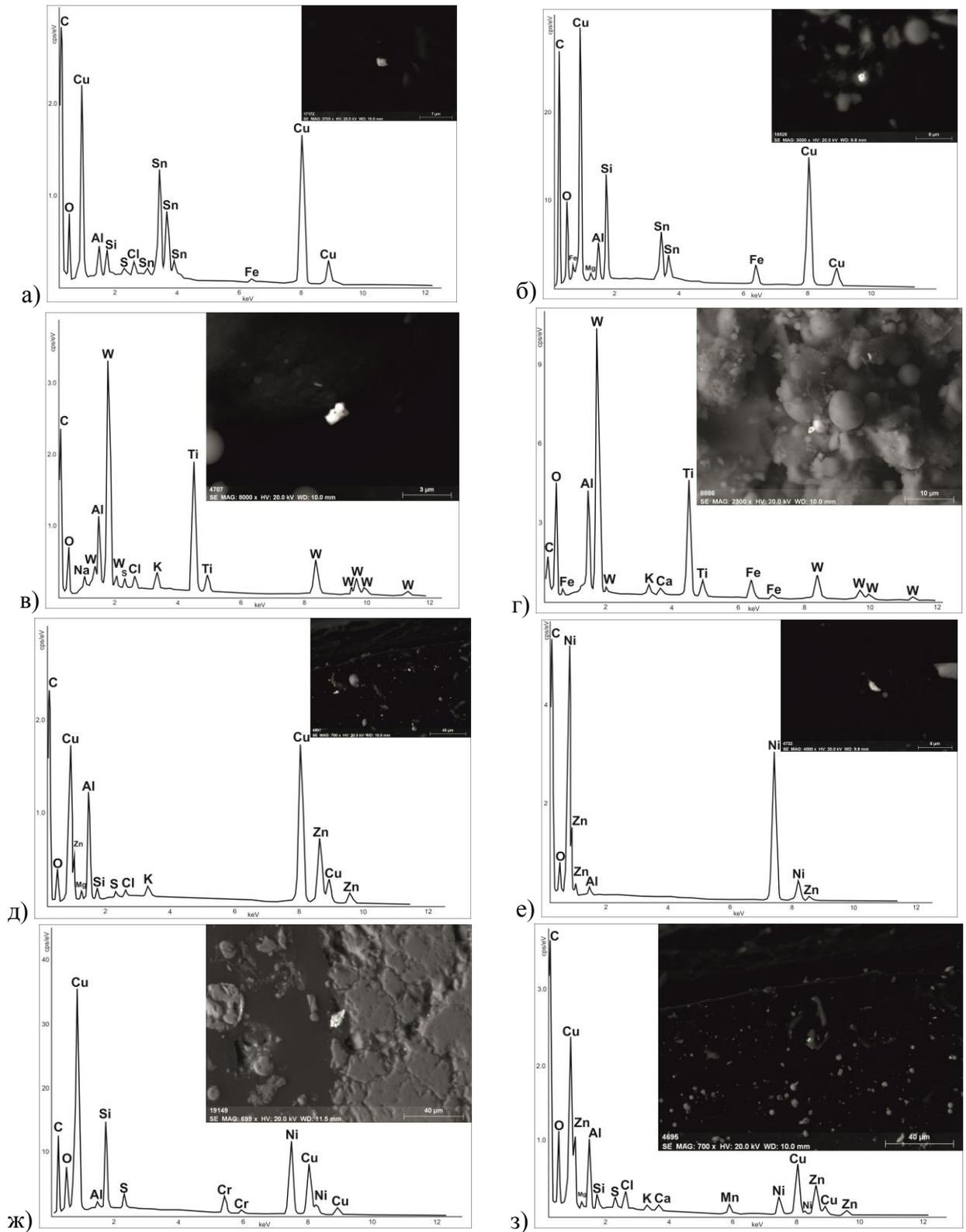


Рисунок 6.6 – Частицы интерметаллического состава в пробах нерастворимой фазы снега (а – Cu - Sn; б – Cu - Sn - Fe; в – W - Ti, г – W - Ti - Fe, д – Cu - Zn, е – Ni - Zn, ж – Cu - Ni - Cr, з – Cu - Ni - Zn - Mn)

Частицы интерметаллического состава (Fe - Cr - Ni, Fe - Zn - Pb, Fe - Zn, Pb - As, Fe - Cu, Fe - Cr, Fe - Mn), обнаруженные в пробах атмосферного пылевого материала на юге Италии,

были определены как фазы техногенного происхождения (Lettino and Fiore, 2013). Также металлические микрочастицы железа, свинца, хрома, цинка (однако возможно их оксидов) были идентифицированы в пробах снега в городах Дальнего Востока России – во Владивостоке и Уссурийске, и отнесены к частицам искусственного происхождения (Голохваст и др., 2013). Частицы интерметаллического состава, содержащие Fe и Zn ($\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$), были обнаружены во взвешенных атмосферных частицах в г. Пуна (Индия) и вероятным источником их эмиссии в атмосферный воздух города было обозначено сжигание биомассы (Satsangi and Yadav, 2014). А частицы самородной меди, содержащей 4,6 мас.% Zn, были идентифицированы в твердых взвешенных атмосферных частицах г. Мехико (Мексика) (Pina et al., 2000) и также идентифицированы как техногенные фазы.

Известно, что самородные элементы и частицы интерметаллического состава встречаются в различных углях мира. Так, в углях Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна Ильенком С.С. (Ильенок, 2013) были установлены самородные Au, Ag, Cu, Ni, Zn, W и интерметаллические соединения – Au-Cu-Ag, Cu-Sn, Cu-Sn-Co, Fe-Cu-Sn (Zn), Sn-Ni-Cu (Zn), Sn-Ni-Zn, Cu-Zn, Cu-Ni-Zn, Cu-Ni и W-Co. Частицы самородного золота размером 10 – 20 мкм были обнаружены в угольном концентрате Балканских углей (Yossifova, 2014). Кроме этого Седериным В.В. (Seredin, 2004) был установлен широкий спектр элементов, присутствующих в угленосных слоях в самородной форме – Al, Si, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Pd, Ag, Cd, Sn, Ta, W, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, S, As, Se, Sb и в форме интерметаллических (и металл-неметалл сплавов) соединений – Fe-Cr-Ni, Ni-Cu, Ni-Sn, Zn-Cu, Sn-Cu, Sn-Pb, Sn-Pb-Bi, Au-Ag, Ag-Hg, Au-Hg, Au-Cu, Pt-Fe, Pt-Pd, Pb-Se, Pb-Sb. В связи с этим, вероятным источником поступления самородных металлов и интерметаллических частиц в состав пылевых атмосферных частиц могут являться тонкодисперсные частицы угольной пыли с содержащимися в них самородными элементами (или интерметаллическими включениями), разносимые потоками воздуха с мест складирования угля и/или угледробильных установок на объектах теплоэнергетической отрасли.

Поступления интерметаллических частиц, например, Fe-Cr, Cr-Fe, Fe-Cr-Ni в состав нерастворимой фазы снега (изначально – в состав твердых взвешенных атмосферных частиц), может быть обусловлено помимо вероятного источника, связанного с объектами сжигания угля, влиянием металлообрабатывающих производств.

Установленные самородные и интерметаллические формы нахождения металлов (металлоидов) в пробах нерастворимой фазы снега представляют важность с позиций вероятной будущей оценки эпидемиологической характеристики территории в окрестностях предприятий г. Томска, так как имеются данные о способности, например, мелкодисперсных Zn-содержащих частиц индуцировать повреждение ДНК (Bonetta et al., 2009).

В форме серосодержащих фаз в составе нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 обнаружены Fe, Cu, Pb, Sb, а также дополнительно в пробах из других территорий установлены серосодержащие фазы Zn и Fe-As (рисунок 6.7).

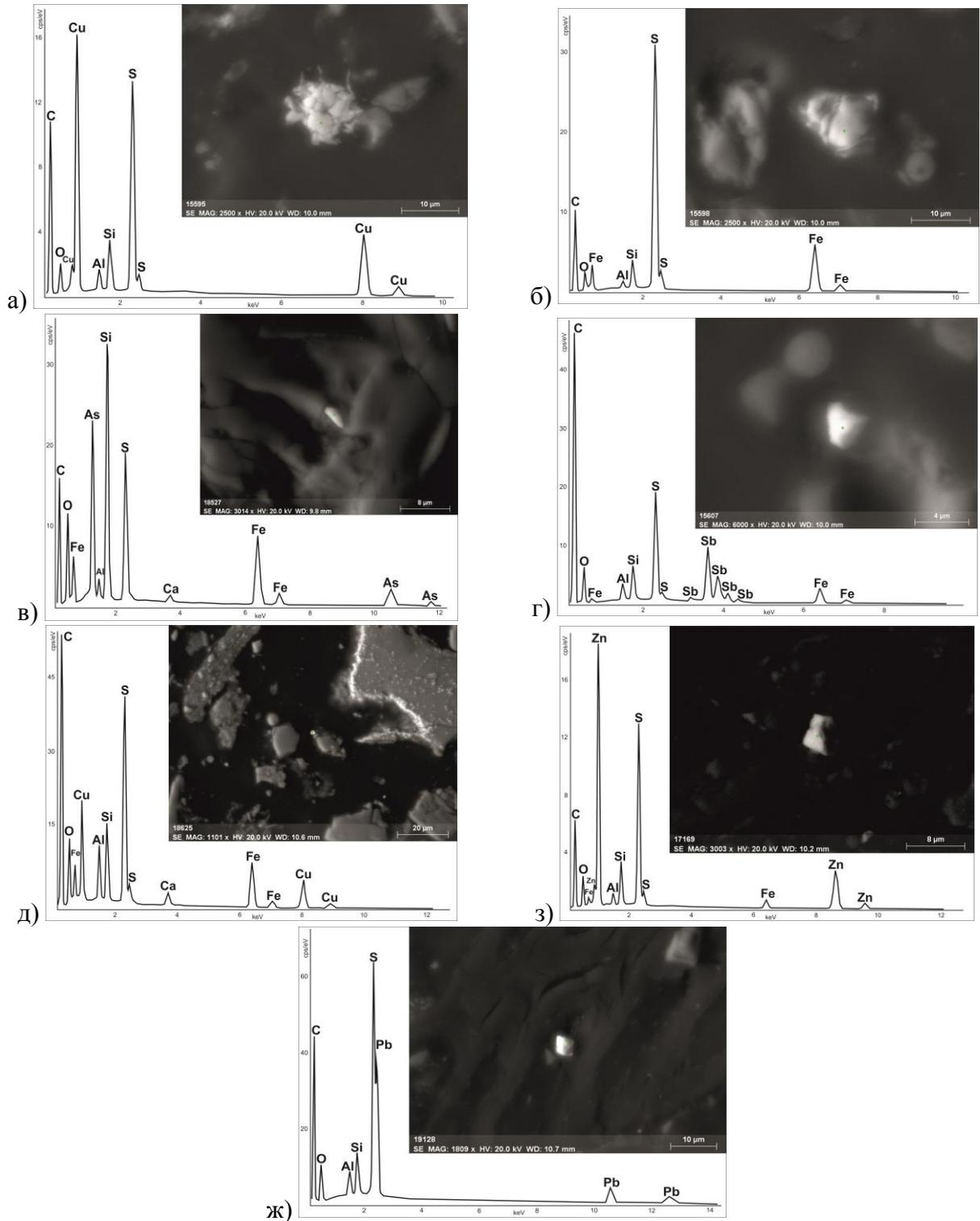


Рисунок 6.7 – Серосодержащие фазы в составе нерастворимой фазы снега

(а – меди, б – железа, в – железа и мышьяка, г – сурьмы, д – железа и меди, е – цинка, ж – свинца)

Частицы, содержащие серу и медь имеют размер 14 мкм; размер частиц, в состав которых входят сера и железо составляет от 3 до 13 мкм, сера, железо и мышьяк – от 2,4 до 12 мкм; сера и сурьмы – 2,4 – 2,8 мкм. Размер частиц, сложенных серой, железом и медью составляет около 2 мкм, аналогичным размером (от 2,7 до 3,6 мкм) обладают частицы из серы и цинка. Также в пробах нерастворимой фазы снега были обнаружены серосодержащие фазы свинца, размер частиц которых находится в диапазоне от 5,2 до 9 мкм.

Железо, Cu, Pb, Zn, As и Sb являются типичными элементами-примесями углей, одной из характерной формой нахождения которых в углях является сульфидная (Юдович и Кетрис, 2005; Finkelman, 1995). В связи с этим, вероятным источником поступления идентифицированных в составе проб нерастворимой фазы снега серосодержащих фаз данных металлов (металлоидов) могут быть выбросы объектов угольной (частично угольной) теплоэнергетики.

В работе В.Н. Удачина (Удачин В.Н., 2012) было показано, что индивидуальные частицы в составе аэральных выпадений вблизи медеплавильного производства (Южный Урал) содержат Pb, Zn, As, Cu, Sn, S. Пыль шахтных печей медеплавильного производства содержит сульфидные фазы – пирит, халькопирит, сфалерит и галенит, а также Cu-Zn-шпинели. При этом эквивалентный сферический диаметр абсолютного большинства частиц соответствует аэродинамическому размеру 2,50 – 4,25 мкм (Удачин В.Н., 2012). Также данные о поступлении частиц сульфидов Fe, Cu, Zn, Cu размером от 3 до 30 мкм, в результате функционирования предприятий металлургической отрасли (юг Испании), приводятся в работе J.M. Vernabe с соавторами (Vernabe et al., 2005).

Ввиду того, что частицы мелкодисперсных атмосферных взвесей могут распространяться на значительные расстояния от источников их генерации (Геохимия..., 1990) и наличия металлургических предприятиях, например, по выплавке олова и целых металлургических комплексов (производство ферросилиция, алюминия и его сплавов, литейное производство стали и чугуна и др.) на территориях соседних регионов с наветренной стороны (Новосибирская, Кемеровская области) относительно территории проведения наших исследований, с определенной долей осторожности предположить возможность трансграничного переноса отдельных мелкодисперсных серосодержащих (вероятно сульфидных), а также интерметаллических частиц от объектов металлургической отрасли на территорию Томского региона. Так как в частности в аэрозольных частицах из окрестностей Оловокомбината (г. Новосибирск) в качестве минералов-индикаторов его воздействия были установлены сплавы цветных металлов и олова и капельки железа (Артамонова и др., 2007).

В пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 обнаружено значительное количество оксидных минеральных форм. Так, идентифицированы оксиды

железа, формирующие частицы с размером от 2 до 127 мкм; оксиды железа и титана с размером частиц в диапазоне от 23 до 31 мкм; оксиды сурьмы с размером частиц 2,8 – 5,3 мкм (рисунок 6.8).

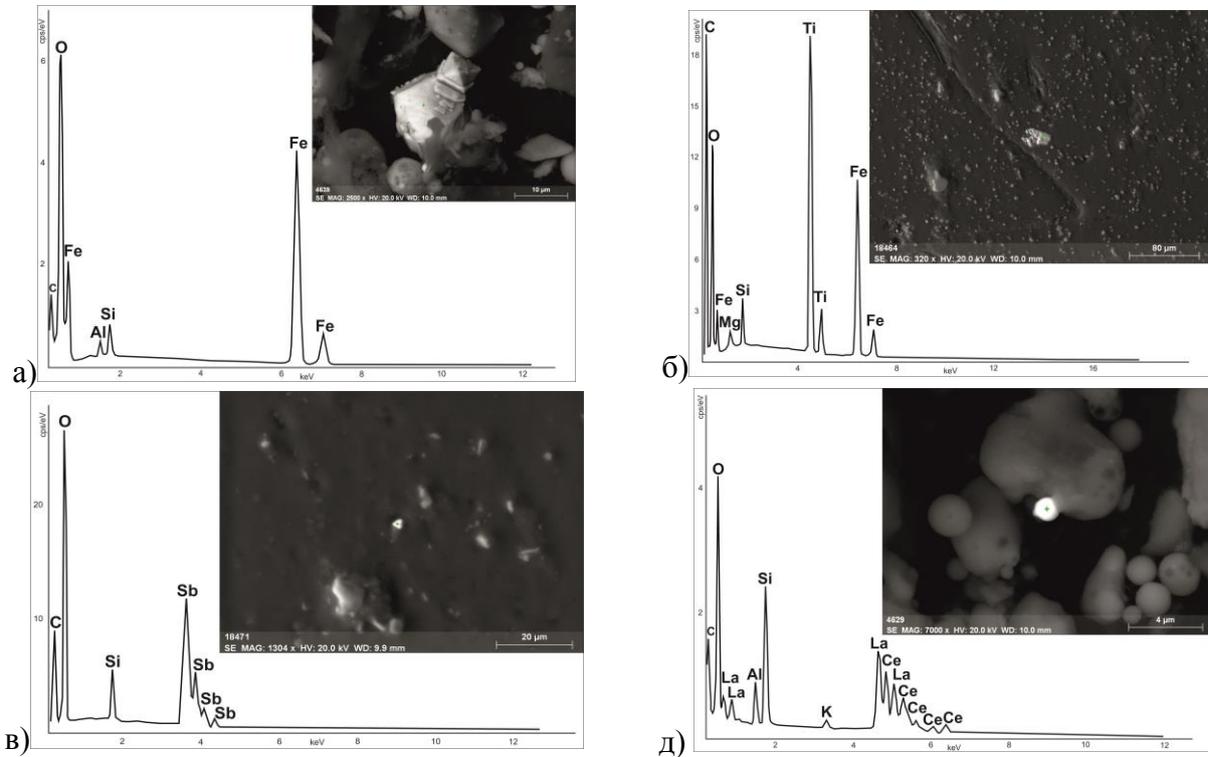


Рисунок 6.8 – Частицы оксидного состава и частица карбонатов в нерастворимой фазе снега в окрестностях (а – оксид железа, б – оксид железа и титана, в – оксид сурьмы, г – карбонат лантана и церия)

Оксиды железа – магнетит, маггемит, гематит являются часто встречающимися компонентами промышленных пылевых отходов (Flanders, 1994), в частности в продуктах сжигания углей (Vassilev and Vassileva, 1997; Brown et al., 2011). Также в пробах нерастворимой фазы снега были установлены частицы карбонатов лантана и церия, предположительно являющиеся бастнезитом (рисунок 6.8). Также минеральной формой нахождения редких и редкоземельных элементов в нерастворимой фазы снега были установлены их фосфаты: предположительно монацит (фосфат La (Ce, Nd)) и ксенотим (фосфат Y (Gd, Dy)). Размеры частиц данного состава – 3 мкм (рисунок 6.9). Вероятным источником поступления данных частиц являются зольные выбросы от сжигания угля, так как, в научной литературе обсуждается присутствие сферических частиц фосфатов редкоземельных элементов с примесью алюмосиликатного вещества размер которых составлял около 5 мкм в угольной золе теплоэлектростанций (Smolka-Danielowska, 2010).

Формой нахождения бария в пробах нерастворимой фазы снега являются его серосодержащие частицы (вероятно сульфаты), размеры которых составляет от 3,6 до 26 мкм и частицы карбонатного состава с размерами около 14 мкм (рисунок 6.10).

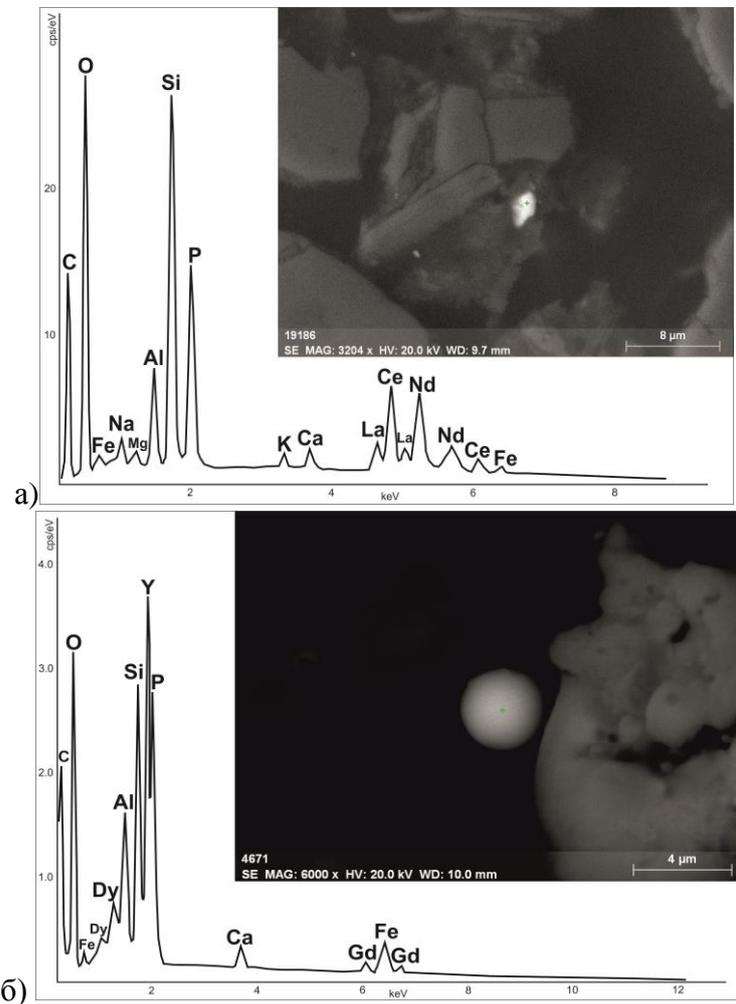


Рисунок 6.9 – Минеральные формы нахождения редких и редкоземельных элементов нерастворимой фазы снега (а – фосфат La (Ce, Nd) (предположительно монацит), б – фосфат Y (Gd, Dy) (предположительно ксенотим))

Барий присутствует в составе золы от сжигания углей (Yossifova et al., 2007) в карбонатной и сульфатной формах (Fruchter et al., 1990), за счет чего мелкодисперсные частицы в выбросах пылеугольных теплоэлектростанций обогащены барием (Bauer, 1988). Нами также было установлено, что Ba присутствует в повышенных концентрациях в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 (таблица 5.5). Сульфаты являются специфичными минеральными соединениями в составе взвешенных атмосферных частиц в зоне расположения объектов сжигания биомассы и ископаемого топлива (Satsangi, Yadav, 2014). На основе изучения физические и химические характеристики отдельных сульфатных минеральных зерен в составе взвешенных атмосферных частиц в Пекине В. Ли с соавторами (2008) предположил

описание механизма образования сульфатов. Данный процесс заключается в формировании щелочного раствора на поверхности минеральных частиц кальцита и доломита в виду их гидрофильности (при условии высокой относительной влажности воздуха) и последующем поглощением кислого газа – SO_2 , с формированием в результате сульфатной частицы (Li et al., 2008). Гипотеза о формировании сульфатных частиц в атмосферном воздухе как вторичных минералов также обсуждается в работе (Sen-lin et al., 2006). Аналогичный процесс, вероятно, может осуществляться и с участием карбонатных частиц бария, в результате чего образуются частицы сульфата бария.

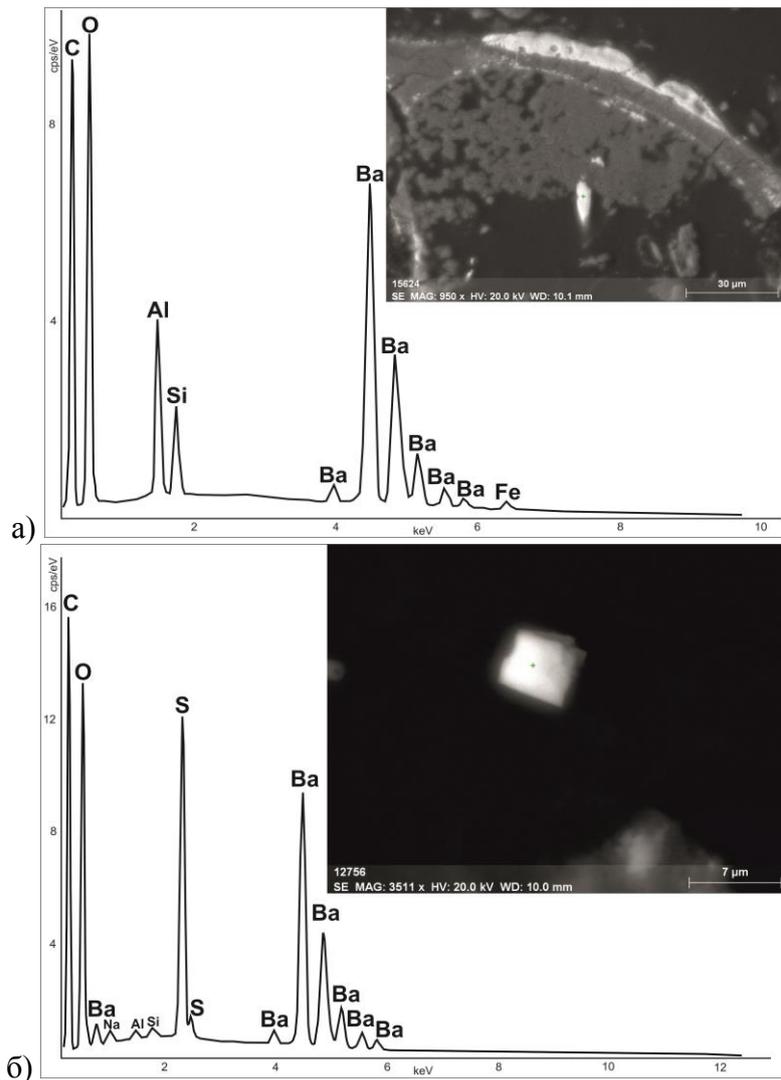


Рисунок 6.10 – Микроминеральные формы нахождения бария в составе нерастворимой фазы снега (а – карбонатная частица бария, б – серосодержащая частица бария)

Несмотря на то, что некоторые частицы самородного и интерметаллического составов и минеральные частицы встречаются в пробах достаточно редко, их наличие говорит о весьма сложном составе твердого осадка снега на рассматриваемой территории.

6.4 Сферические техногенные образования в составе нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2

Изучение техногенных сферических образований в составе нерастворимой фазы снега на территории г. Томска, а также на территории Томской области, ведется с 1990-х гг. (Шатилов, 2001). Большой вклад в изучении минералогии техногенных микросферул сделан Язиковым Е.Г. (Язиков, 2006), Таловской А.В. (Таловская, 2008).

В составе проб нерастворимой фазы снега, отобранных в окрестностях Томской ГРЭС-2, обнаружено большое количество сферических техногенных образований (рисунок 6.11).

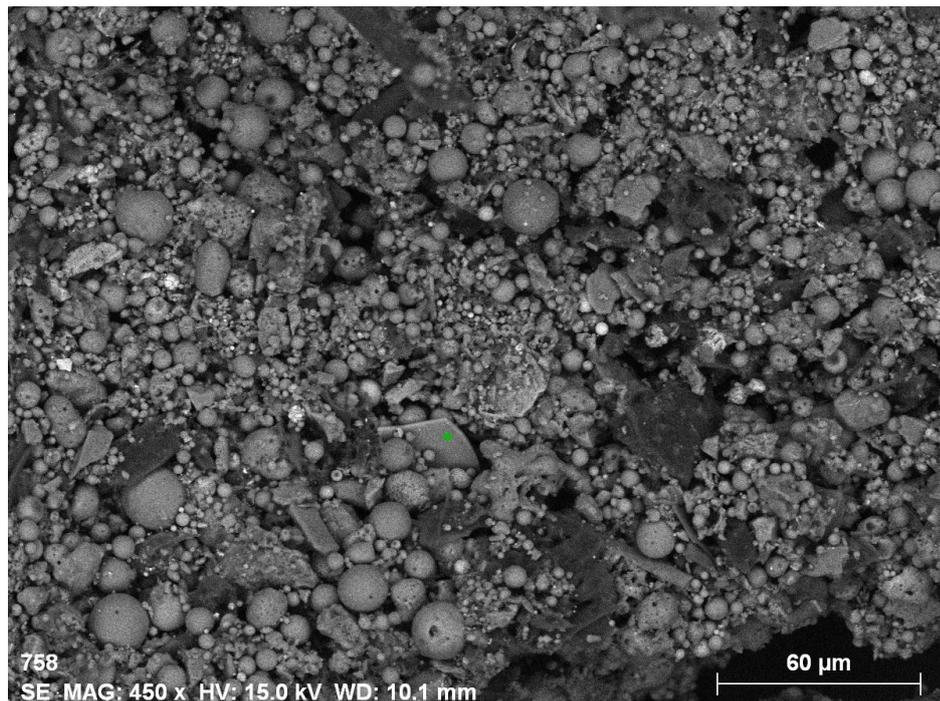


Рисунок 6.11 – Сферические техногенные образования на общем снимке пробы нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2

Исследования отдельных микросферул из проб нерастворимой фазы снега ($n = 28$) и микросферул из золы-уноса Томской ГРЭС-2 ($n = 3$) с использованием микрозондового спектрального полуколичественного анализа позволили установить, что все они на 63,4 – 99,6 мас.% состоят из O, Al, Si, Fe, Ca, а также в их состав входят Na, Mg, K, P, Ti. Массовые содержания основных химических элементов (O, Al, Si, Fe, Ca) варьируются в широком диапазоне. Так, на основе различий соотношения долей Al, Si и Fe в элементном составе микросферул из проб нерастворимой фазы снега и из золы-уноса Томской ГРЭС-2 были выделены три группы микросферул – алюмосиликатные микросферулы, высокожелезистые алюмосиликатные микросферулы и ферросферулы (рисунок 6.12).

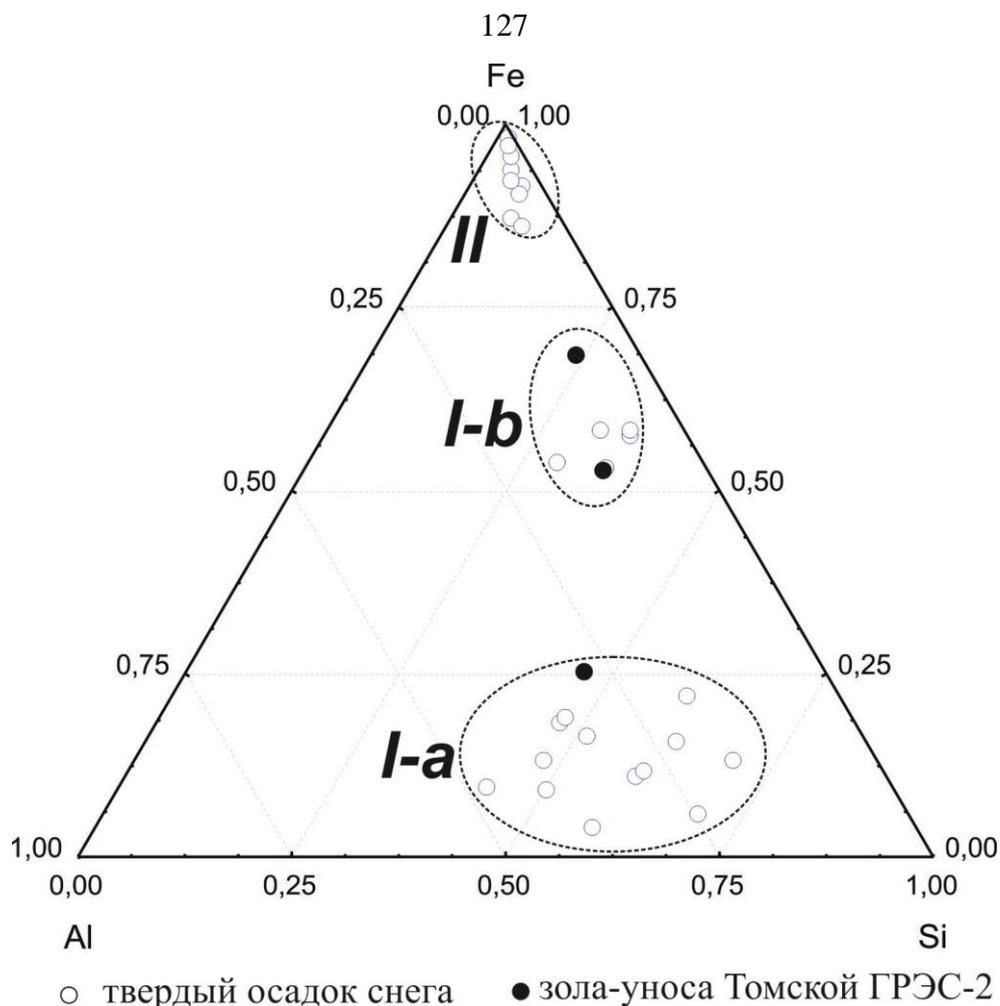


Рисунок 6.12 – Соотношение долей Al, Si и Fe в элементном составе микросферул из проб нерастворимой фазы снега и золы-уноса Томской ГРЭС-2 (I-a – алюмосиликатные микросферулы; I-b – высокожелезистые алюмосиликатные микросферулы; II – ферросферулы)

В первую группу (I-a) объединены микросферулы ($n = 13$), содержащие Si $19,8 \pm 2,3$ мас.%, Al $10,7 \pm 1,4$ мас.%, Fe $4,5 \pm 0,7$ мас.%, на O и Ca в их составе приходится $48,7 \pm 3,2$ и $3,7 \pm 1,2$ мас.% соответственно (рисунок 6.13). Данные алюмосиликатные микросферулы по соотношению в них Al–Si–Fe близки к микросферуле алюмосиликатного состава из золы-уноса Томской ГРЭС-2. Образование алюмосиликатных микросферул происходит в результате расплавления минеральных компонентов при сжигании углей, миграции расплава в газовом потоке в виде отдельных микрокапель и их раздува за счет захваченных газовых включений (Hubbard et al., 1984; Компоненты..., 1995; Природа..., 2001). Размеры алюмосиликатных микросферул в нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 находятся в интервале от 2,5 до 45 мкм. По своей морфологии, характеру поверхности данные микросферулы соответствуют типичным алюмосиликатным микросферулам в составе угольных энергетических зол (Природа..., 2001).

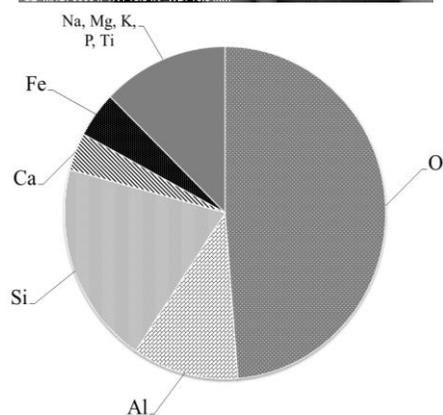
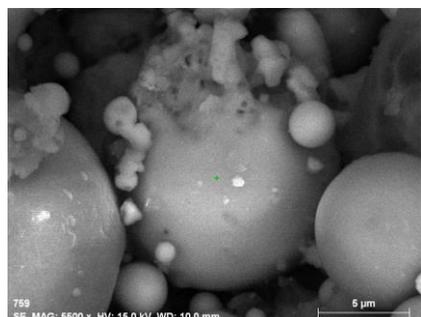
Вторая группа микросферул ($n = 6$) отличается от кластера алюмосиликатных микросферул повышенной долей в своем элементном составе Fe при меньшем содержании Al:

Si – 25,0±1,8 мас.%, Fe – 22,9±2,6 мас.%, Al – 8,0±0,9 мас.%, O – 35,1±1,7 мас.%, Ca – 2,0±1,1 мас.% (рисунок 6.12). Размер данных высокожелезистых алюмосиликатных микросферул в нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 изменяется от 4 до 20 мкм. Поверхность микросферул данной группы характеризуется наличием раскристаллизованных фаз, образующих четкие очертания граней кристаллов как следствие высокотемпературных процессов минералообразования (Zhao et al., 2006) и контрастно отличающихся по элементному составу от «тела» сферы: Si – 4,1 мас.%, Fe – 51,8 мас.%, Al – 3,5 мас.%, O – 33,4 мас.%, Ca – 1,6 мас.% (рисунок 6.12). При этом такие химические элементы как Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As и Pb, замещая Fe²⁺ и Fe³⁺ в кристаллической решетке, могут встраиваться в структуру оксидов железа в составе микросферул (Lu et al., 2009). Высокожелезистые алюмосиликатные микросферулы являются характерными техногенными сферическими образованиями в составе золы-уноса Томской ГРЭС-2 (рисунок 6.14), а также типичны для других угольных энергетических зол (Природа..., 2001).

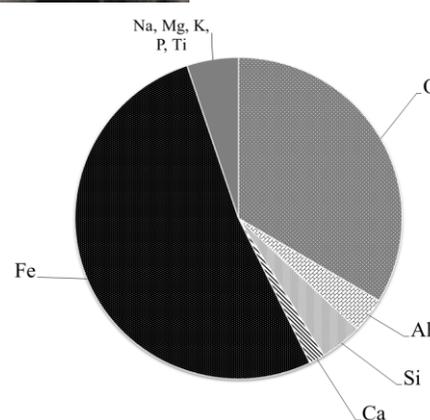
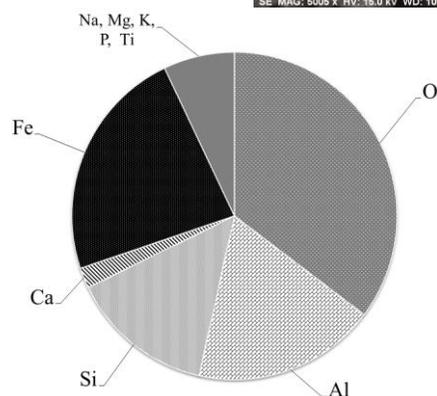
Разделение алюмосиликатных микросферул в золах-уноса на высококремниевые и высокожелезистые обусловлено различным составом продуктов переплавления при сжигании угля, из которых формируются микросферулы. Для высококремниевые алюмосиликатных микросферул таким продуктами полного плавления являются слоистые силикаты, а для высокожелезистых – продукты совместного плавления глинистых минералов, сидерита и Са-Mg карбонатов (Природа..., 2001).

Микросферулы в составе нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2, содержащие Fe по массе от 17,7 до 84% (результаты сопоставимы с содержанием Fe в ферросферулах по данным Лю с соавторами (Lu et al., 2009) – 33,1–71,4 мас.%) и относительно обедненные Al и Si в сравнении с алюмосиликатными и высокожелезистыми алюмосиликатными микросферулами, были объединены в третью группу – ферросферулы (n = 9) (рисунок 6.12). Ферросферулы в нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 имеют размеры от 1,6 до 32 мкм. Аналогичных данным микросферулам сферических техногенных образований в составе золы уноса Томской ГРЭС-2 обнаружено не было, однако известно, что ферросферулы типичны для зол, образующихся при сжигании канско-ачинских, кузбасских (Фоменко, 1998), челябинских углей (Природа..., 2001).

Алюмосиликатная микросферула



Высокожелезистая алюмосиликатная микросферула (левая диаграмма) с раскристаллизованными на поверхности оксидами железа (правая диаграмма)



Ферросферула

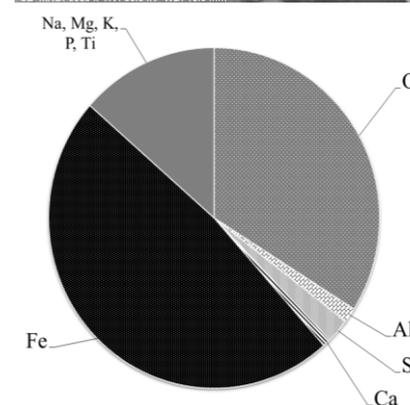
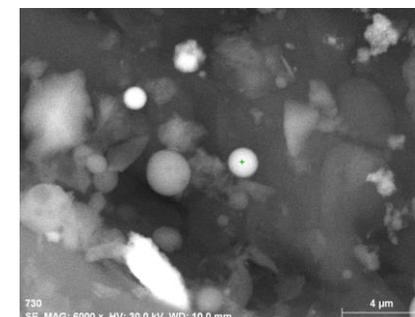


Рисунок 6.13 – Морфология, характер поверхности и элементный состав алюмосиликатных микросфер, высокожелезистых алюмосиликатных микросферул и ферросферул в нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2

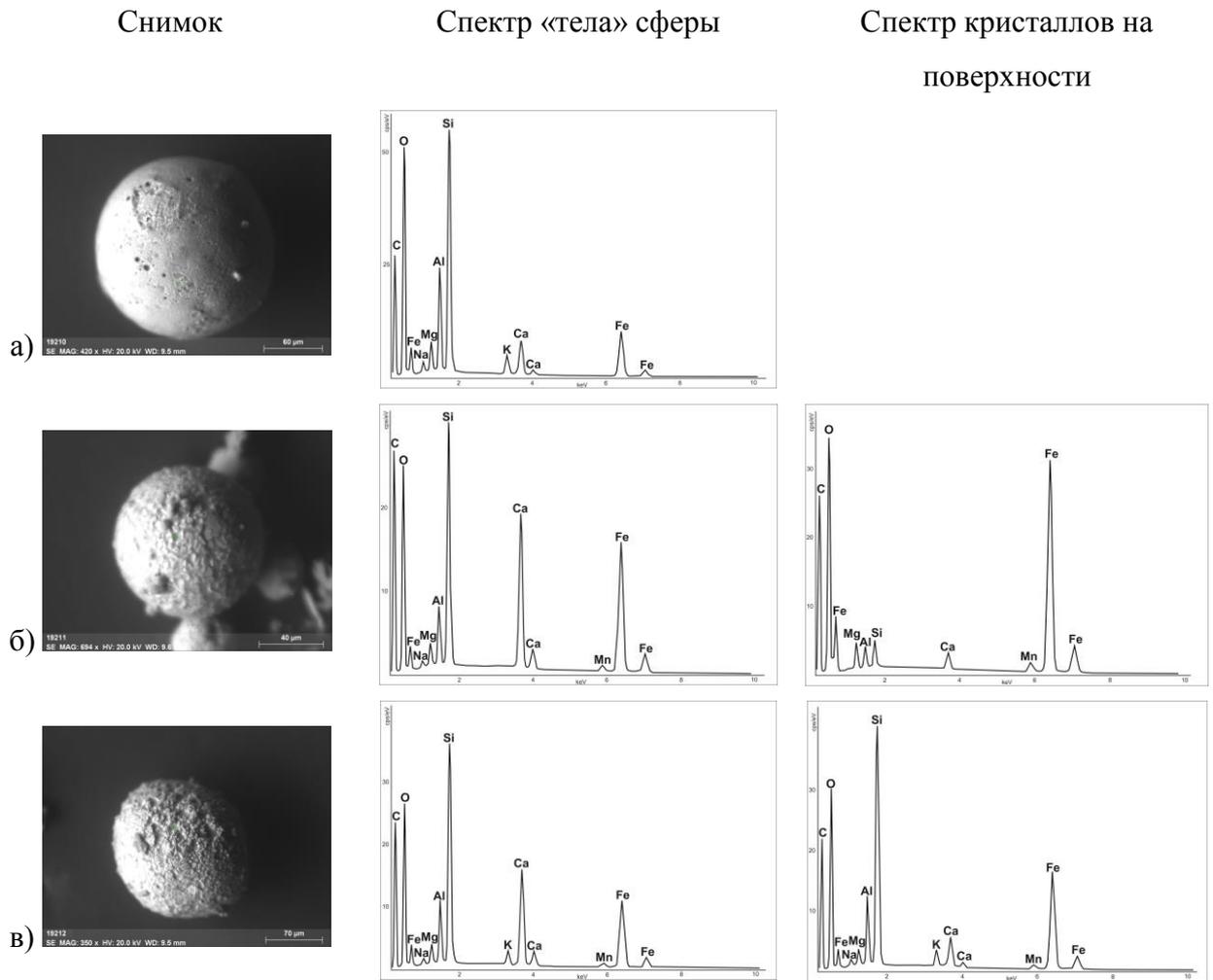


Рисунок 6.14 – Морфология, характер поверхности и энергодисперсионный спектр алюмосиликатной (а) и высокожелезистых алюмосиликатных микросферул (б, в) из золы-уноса Томской ГРЭС-2

При отсутствии единого взгляда на процессы формирования ферросферул при сжигании углей (Природа..., 2001), существует концепция их и космогенного генезиса (Иванов и Флоренский, 1970; Herzog et al., 1999; Engrand et al., 2005).

В работе Язикова Е.Г. (Язиков, 2006) было показано, что магнезиоферритовые микросферулы (преобладающий спектр химических элементов – Fe, Mg, Ti, Mn, Zn, Ni, Ca, Cd, La; размер частиц – от 14 до 420 мкм) имеют техногенное происхождения, обусловленное функционированием чугуно-литейных цехов предприятий машиностроительной и металлообрабатывающей отраслей. В тоже время изучение частиц сферической формы шлаковых отходов чугуно-литейного производства показало, что характер поверхности таких частиц и энергодисперсионный спектр элементного состава (рисунок 6.15) отличаются от аналогичных характеристик ферросферул в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2.

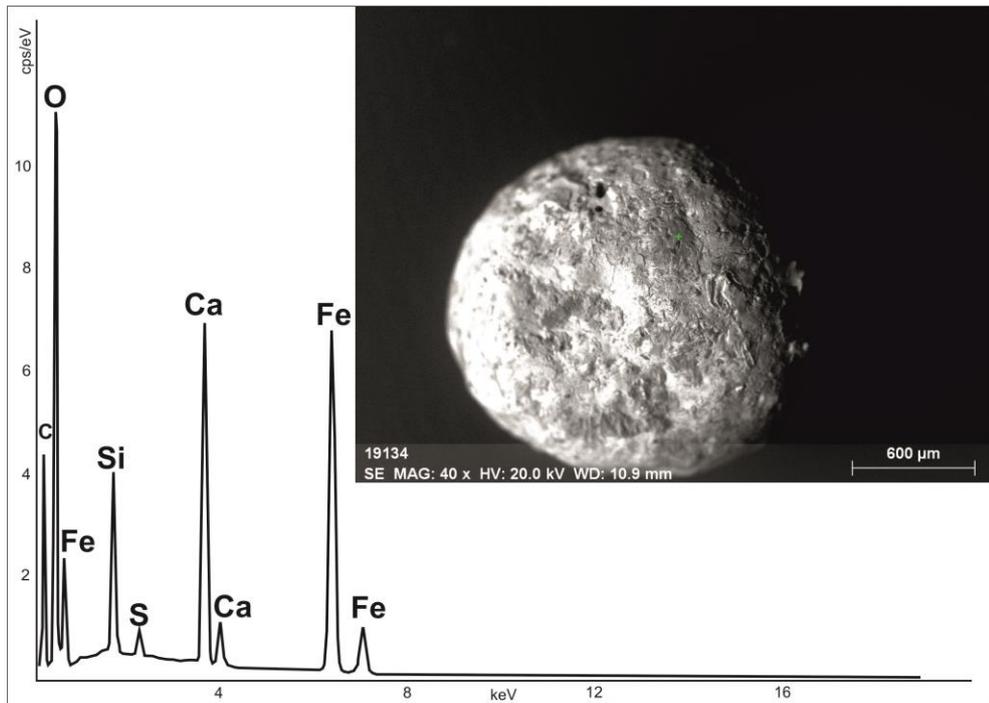


Рисунок 6.15 – Снимок и энергодисперсионный спектр сферической частицы шлаковых отходов чугуно-литейного производства

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наиболее контрастные ореолы пылевого загрязнения территории в южной части Томской области сформированы воздействием от источников Томск-Северской промышленной агломерации, в северной части региона – воздействием от нефтедобывающих промыслов. Кроме этого существенный вклад в пылевое загрязнение населенных пунктов Томской области вносят локальные источники – преимущественно угольные котельные.

2. Наиболее высокие содержания в пробах нерастворимой фазы снега ряда тяжелых металлов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов характерны для окрестностей угольных котельных в сравнении с котельными на газе и древесном топливе.

3. Пространственная конфигурация ореолов пылевого загрязнения территории Томской области повторяет структуру ртутной нагрузки на территорию региона, при этом наиболее контрастные ореолы ртутной нагрузки установлены на территории южных, юго-западных и северных районов области.

4. Воздействие выбросов Томской ГРЭС-2 отражается в элементном составе нерастворимой фазы снега из ее окрестностей, изменениях свойств подвижности химических элементов-индикаторов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода», а также в параметрах ионного состава снеготалой воды. Наиболее интенсивное воздействие Томской ГРЭС-2 установлено в условно ближней зоне – на удалении до 1 км от высотных труб теплоэлектростанции.

5. Выбросы Томской ГРЭС-2 являются источником накопления в снежном покрове в ее окрестностях сферических техногенных образований, рентгеноаморфного сажистого вещества и мелкодисперсной угольной пыли.

6. Минеральными формами нахождения металлов и металлоидов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2, а также других территорий Томского региона являются собственно самородная, интерметаллическая, оксидная и серосодержащие фазы.

7. Наибольший приток пылевых частиц с комплексом химических элементов, включая радиоактивные и токсичные металлы, в окрестностях Томской ГРЭС-2 формируется в результате сжигания угля. Для снижения их возможного негативного влияния на здоровье людей, проживающих вблизи теплоэлектростанции, целесообразно предусмотреть увеличение доли природного газа в топливном балансе Томской ГРЭС-2 в зимние сезоны, а также улучшить систему пылеподавления при разгрузке, хранении и транспортировке угля, например, посредством сооружения закрытого угольного штабеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адильбаева, Т. Е. Уровень пылевого загрязнения атмосферы г. Караганда (Республика Казахстан) по данным снегогеохимической съемки / Т. Е. Адильбаева // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, Томск: Изд-во ТПУ.– 2014. – Т. 1. – С. 684–686.
2. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л: ГИМИЗ, 1970. – 444 с.
3. Алтунина, Л. К. Загрязнение окружающей среды при сжигании попутного нефтяного газа на территории нефтедобывающих предприятий / Л. К. Алтунина, Л. И. Сваровская, И. Г. Яценко и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 3. – С. 217–222.
4. Аношин, Г. Н. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов юга Западной Сибири / Г. Н. Аношин, И. Н. Маликова, Ж. О. Бадмаева и др. // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Международного симпозиума, М.: ГЕОХИ РАН. – 2010. – С. 169–173.
5. Аношин, Г. Н. Ртуть в окружающей среде юга Западной Сибири / Г. Н. Аношин, И. Н. Маликова, С. И. Ковалев и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 1995. – Т. 3. – № 1–2. – С. 69–111.
6. Антонович, В. В. Оценка качества воздуха нефтегазодобывающих районов / В. В. Антонович, Б. Д. Белан, В. И. Вавер и др. // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы и практика, Нижневартовск, НГПИ, ХМРО РАЕН, ИОА СО РАН. – 2000. – С. 216–220.
7. Арбузов, С. И. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С. И. Арбузов, В. В. Ершов. – Томск: Изд. Дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
8. Ардаков, Г. Н. Использование снежного покрова в городах для оценки их влияния на окружающую природную среду : автореф. дис.: ... канд. техн. наук : 03.00.16 / Ардаков, Геннадий Николаевич. – Самара, 2004. – 24 с.
9. Артамонова, С. Ю. Минерально-геохимические индикаторы техногенных источников аэрозольного загрязнения / С. Ю. Артамонова, А. С. Лапухов, Л. В. Мирошниченко и др // Химия в интересах устойчивого развития. – 2007. – Т. 15. – № 6. – С. 643–652.
10. Аэрозоли в природных планшетах Сибири / А. П. Бояркина, В. В. Байковский, Н. В. Васильев и др. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 157 с.

11. Аэрозоли Сибири / И. С. Андреева и др. / Отв. Ред. К. П. Куценогий. Рос. Акад. Наук Сиб. отделение. Ин-т химической кинетики и горения, Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 548 с.
12. Баглаева, Е. М. Пространственная структура техногенного загрязнения снегового покрова промышленного города и его окрестностей растворимыми и нерастворимыми формами металлов / Е. М. Баглаева, А. П. Сергеев, А. Н. Медведев // Геоэкология. – 2012. – № 4. – С. 326–335.
13. Беляев, С. П. Некоторые закономерности загрязнения природной среды продуктами сгорания каменного угля на примере г. Кызыла / С. П. Беляев, С. П. Бесчастнов, Г. М. Хомушку и др. // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 12. – С. 54–63.
14. Бобрицкая, М. А. Поступление азота в почву с атмосферными осадками в различных зонах Европейской части СССР / М. А. Бобрицкая // Почвоведение. – 1962. – № 12. – С. 53–60.
15. Бортникова, С. Б. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирск) / С. Б. Бортникова, В. Ф. Рапуга, А. Ю. Девятова и др. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2009. – № 6. – С. 515–525.
16. Боярко, Г. Ю. Геолого-экономическая характеристика минерально-сырьевой базы Томской области / Г. Ю. Боярко, А. К. Мазуров, В. Г. Емешев // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири : матер. межрег. научно-практич. конф. – Томск : Изд-во ТПУ, 2005 – С. 33–44.
17. Быкова, М. А. Оценка степени антропогенной нагрузки на урбосистемы г. Саратова по данным экологического мониторинга снежного покрова : автореф. дис.: ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Быкова Марина Алексеевна. – Саратов, 2012. – 23 с.
18. Валетдинов, А. Р. Технология комплексной оценки влияния промышленных объектов на загрязненность тяжелыми металлами природных сред по результатам мониторинга снежного покрова : на примере Республики Татарстан и города Казани : автореф. дис.: ... канд. техн. наук : 03.00.16 / Валетдинов Айрат Ренатович. – Казань, 2006. – 22 с.
19. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, И. М. Назаром, Ш. Д. Фридман. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 181 с.
20. Владимиров, А. Г. Экогеохимия ртути и способы демеркуризации твердых ртутьсодержащих отходов в условиях Южной Сибири (на примере промплощадки ОАО «Новосибирский завод химконцентратов») / А. Г. Владимиров, А. В. Бабушкин, И. М.

Белозеров и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т. 20. – № 5. – С. 531–542.

21. Воробьева, И. Б. Эколого-геохимические особенности снега, льда, и подледной воды южной части озера Байкал / И. Б. Воробьева, Е. В. Напрасникова, Н. В. Власова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2009. – № 1. – С. 54–60.

22. Атмосферные загрязнения Томска и их влияние на здоровье населения / А. И. Воробьева, М. А. Медведев, Л. П. Волкотруб, Н. В. Васильев. – Томск: Изд-во ТГУ, 1992. – 192 с.

23. Воронцова, А. В. Геохимия снегового покрова в условиях городской среды / А. В. Воронцова, Е. М. Нестеров // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2012. – № 147. – С. 125–132.

24. Галанов, С. И. Влияние содержания марганца в оксигидрооксиде алюминия - прекурсором MnO $X-Al_2O_3$ катализаторов на каталитическую активность в реакции окисления C_1-C_3 углеводородов / С. И. Галанов, О. И. Сидорова, Е. Н. Грязнова и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Том 325. – № 3. – С. 150–155.

25. Галанов, С. И. Нановолокнистые оксигидроксиды алюминия, модифицированные ионами марганца (II), – прекурсоры марганецсодержащих катализаторов глубокого окисления метана / С. И. Галанов, О. И. Сидорова, Е. Н. Грязнова и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 3. – С. 88–93.

26. Геохимия и металлоносность углей Красноярского края / С. И. Арбузов, А. В. Волостнов, В. В. Ершов, Л. П. Рихванов, В. С. Смирнов, В.С. Машенькин. – Томск: STT, 2008. – 300 с.

27. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

28. Гладышев, В. П. Хемодинамика и мониторинг ртути в окружающей среде // Материалы Симпозиума «Контроль и реабилитация окружающей среды» / под общ. ред. М. В. Кабанова, Н. П. Солдаткина. – Томск: Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 2000. – С. 34–38.

29. Голохваст, К. С. Нано-и микрочастицы металлов в городской атмосфере (на примере городов Владивосток и Уссурийск) / К. С. Голохваст, Е. В. Соболева, П. А. Никифоров и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2013. – Т. 21. № 2. – С. 129–134.

30. Гребенщикова, В. И. Миграция ртути с атмосферными выпадениями в Прибайкалье / В. И. Гребенщикова, М. В. Пастухов, М. С. Акимова // *Материалы Международного симпозиума Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты.* – М.: ГЕО-ХИ РАН, 2010. – С. 104–109.
31. Григорьев, Н. А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих нижнюю часть континентальной коры / Н. А. Григорьев // *Геохимия.* – 2003. – № 7. – С. 785–792.
32. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Добровольский. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
33. Довгалюк, Ю. А. Физика водных и других атмосферных аэрозолей / Ю. А. Довгалюк, Л. С. Ивлев. – СПб: Изд-во СПбГУ, 1988. – 324 с.
34. Донченко, В. К. Об идентификации аэрозолей разного происхождения / В. К. Донченко, Л. С. Ивлев // *Матер. 3-й междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли».* – Санкт-Петербург: НИИХ СПбГУ, 2003. – С. 41–51.
35. Дюкарев, А. Г. Земельный фонд, его качественный состав и использование / А. Г. Дюкарев // *Природные ресурсы Томской области.* – Нск: Наука, 1991. – С. 7–24.
36. Евсеева, Н. С. География Томской области / Н. С. Евсеева. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – 233 с.
37. Еремина, И. Д. Мониторинг химического состава атмосферных осадков по наблюдениям метеорологической обсерватории МГУ / И. Д. Еремина // *Альтернативная энергетика и экология.* – 2013. – Т. 128. – № 6-2. – С. 80–87.
38. Еремина, И. Д. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмосковье за период 1999-2006 гг. / И. Д. Еремина, А. В. Григорьев // *Вестник Московского университета. Серия 5: География.* – 2010. – № 3. – С. 55–60.
39. Ефимова, Н. В. Изучение здоровья населения в условиях воздействия техногенной ртути / Н. В. Ефимова, М. П. Дьякович, Г. Г. Бичева и др. // *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук.* – 2007. – № 2. – С. 75–79.
40. Жорняк, Л. В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв : автореф. дис.: ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Жорняк Лина Владимировна. – Томск, 2009. – 24 с.
41. Зарина, Л. М. Геоэкологические особенности распределения тяжелых металлов в снежном покрове Санкт-Петербургского региона : автореф. дис.: ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Зарина Лариса Михайловна. – Спб, 2009. – 19 с.

42. Зеркаль, С. М. Модели газоаэрозольного мониторинга и их использование при экологической экспертизе загрязнения территорий Западной Сибири / С. М. Зеркаль, В. Ф. Рапута, Т. В. Ярославцева. – Новосибирск: Изд-во СИБСТРИН, 2012. – 140 с.
43. Иванов, А. В. Интенсивность выпадения мелкодисперсного космического вещества на Землю / А. В. Иванов, К. П. Флоренский // Геохимия. – 1970. – № 11. – С. 1365–1372.
44. Иванов, А. О. Эколого-геохимическое состояние приземного слоя атмосферного воздуха г. Томска и Обь-Томского междуречья в 2006 г. (по итогам снеговой съемки) / А. О. Иванов // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 298. – С. 194–197.
45. Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн.: Кн. 5: Редкие d-элементы / В. В. Иванов, под ред. Э. К. Буренкова. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
46. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 376 с.
47. Ильенок, С. С. Самородные элементы в углях и золах углей Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна / С. С. Ильенок // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 65–71.
48. Ильченко, Н. В. Развитие техногенного загрязнения г. Томска тяжёлыми металлами по данным изучения приземного слоя атмосферы и депонирующих сред : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук : 11.00.11 / Ильченко Наталия Викторовна. – Томск, 2000. – 29 с.
49. Кара-Сал, И. Д. Определение уровня загрязнения пылью снежного покрова в зоне влияния Кызылской ТЭЦ / И. Д. Кара-Сал // Вестник Тувинского государственного университета. – 2014. Т. 22. – № 3. – С. 109–112.
50. Карта угленосности, сланценосности и геохимической специализации углей и горючих сланцев России. Масштаб 1:10000000. Объяснительная записка / А. А. Смыслов, Ю. Н. Малышев, Б. Б. Голубев, А. А. Горцевский, В. В. Кирюков. – М.-СПб, 1996. – С. 27–27.
51. Касимов, Н. С. Технофильность химических элементов в начале XXI века / Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2012. – № 1. – С. 15–22.¹
52. Касимов, Н. С. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева, Д. В. Власов и др. // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2012. – № 4. – С. 14–24.²
53. Кизильштейн, Л. Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях / Л. Я. Кизильштейн. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 295 с.

54. Кизильштейн, Л. Я. Компоненты зол и шлаков ТЭЦ / Л. Я. Кизильштейн, В. И. Дубов, А. Л. Шпинцглуз, С. Г. Парада. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 176 с.
55. Кизильштейн, Л. Я. Алумосиликатные микросферы золы пылеугольного сжигания углей / Л. Я. Кизильштейн, А. Л. Шпинцглуз, В. Г. Рылов // Химия твердого топлива. – 1987. – № 6. – С. 122–126.
56. Котляков, В. М. Мир, снег и лед / В. М. Котляков. – М.: Наука, 1994. – 286 с.
57. Кузубова, Л. И. Метилртуть в окружающей среде (распространение, образование в природе, методы определения) Аналит. обзор / Л. И. Кузубова, О. В. Шуваева, Г. Н. Аношин. – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2000. – 82 с.
58. Куимова, Н. Г. Эколого-геохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированных территорий по состоянию снежного покрова / Н. Г. Куимова, А. Г. Сергеева, Л. П. Шумилова и др. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2012. – № 5. – С. 422–435.
59. Латыпова, В. З. Динамика ионного состава и кислотные свойства атмосферных осадков Приказанского региона (Республика Татарстан) / В. З. Латыпова, О. Г. Яковлева, Е. А. Шлычкова и др. // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2005. – Т. 147. – № 3. – С. 141–150.
60. Летенкова, И. В. Химический анализ снежного покрова Новгородской области / И. В. Летенкова, В. Ф. Литвинов, В. Г. Смержок // Вестник Новгородского государственного университета. – 2014. – № 76. – С. 73–76.
61. Летувнинкас, А. И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: учебное пособие / А. И. Летувнинкас. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 290 с.
62. Летувнинкас, А. И. Геохимические аспекты формирования техногенного загрязнения территории города / А. И. Летувнинкас // Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий: тр. Междун. научн. конф. – Томск, 1999. – С. 58–59.
63. Ляпина, Е. Е. Ртуть в аэрозолях г. Томска / Е. Е. Ляпина // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26. – № 6 (293). – С. 490–493.
64. Ляпина, Е. Е. Экогеохимия ртути в природных средах Томского региона : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Ляпина Елена Евгеньевна. – Томск, 2012. – 22 с.
65. Ляпина, Е. Е. Исследование содержания ртути в природных объектах Западной Сибири / Е. Е. Ляпина, Е. А. Головацкая, И. И. Ипполитов // Сибирский экологический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 1. – С. 3–8.
66. Макаров, В. Н. Геохимия снежного покрова таежных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии / В. Н. Макаров // Лед и снег. – 2014. – № 1 (125). – С. 73–80.

67. Малик, Н. А. Импактный вклад вулканических извержений в формирование химического состава сезонного снежного покрова (Камчатка) / Н. А. Малик // Лед и снег. – 2010. – № 4. – С. 45–52.
68. Маликова, И. Н. Подвижные формы ртути в почвах природных и природно-техногенных ландшафтов / И. Н. Маликова, Г. Н. Аношин, Ж. О. Бадмаева // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 3. – С. 409–425.
69. Маркова, Ю. Л. Оценка воздействия промышленности и транспорта на экосистему национального парка «Лосиный остров» : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.09 / Маркова Юлия Леонидовна. – Москва, 2003. – 24 с.
70. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.
71. Микушин, В. В. Оценка аэрозольного загрязнения атмосферы заселенных пунктов Алтайского края и Республики Алтай по данным мониторинга снежного покрова / В. В. Микушин, А. Е. Каплинский, И. А. Суторихин и др. // Экология урбанизированных территорий. – 2006. – № 2. – С. 87–93.
72. Московченко, Д. В. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа / Д. В. Московченко, А. Г. Бабушкин // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 71–81.
73. Назаров, А. Д. Нефтегазовая гидрогеохимия юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / А. Д. Назаров. – М.: Идея-пресс, 2004. – 288 с.
74. Назаров, И. М. Использование сетевых снегосъемок для изучения загрязнения снежного покрова / И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман, О. С. Ренне // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 7. – С. 74–78.
75. Наркович, Д. В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области) : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Наркович Дина Владимировна. – Томск, 2012. – 21 с.
76. Негроров, О. П. Снежный покров как индикатор атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга / О. П. Негроров, И. К. Астанин, В. С. Стародубцев и др. // Вестник ВГУ. Сер. Химия, биология, фармацевтика. – 2005. – № 2. – С. 149–153.
77. Нечаева, Е. Г. Снежный покров как объект регионального мониторинга среды обитания / Е. Г. Нечаева, С. А. Макаров // География и природные ресурсы. – 1996. – № 2. – С. 43–48.

78. Новороцкая, А. Г. Химический состав снежного покрова как индикатор экологического состояния Нижнего Приамурья : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Новороцкая Александра Григорьевна. – Хабаровск, 2002. – 23 с.
79. Оболкин, В. А. Элементный состав нерастворимой фракции атмосферных выпадений в некоторых районах Южного Прибайкалья / В. А. Оболкин, Н. А. Кобелева, Т. В. Ходжер и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 17. – № 5-6. – С. 414–417.
80. Онищенко, Г. Г. Влияние факторов внешней среды на здоровье человека / Г. Г. Онищенко // Иммунология. – 2006. – Т. 27. – № 6. – С. 352–356.
81. Осокин, И. М. Химический состав снежного покрова на территории СССР / И. М. Осокин // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1963. – №3. – С. 55–58.
82. Панин, М. С. Геохимическая характеристика твердых атмосферных выпадений на территории г. Павлодара Республики Казахстан по данным изучения загрязнения снегового покрова / М. С. Панин, Г. С. Ажаев // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – № 292-1. – С. 163–170.
83. Пат. 2229737 Россия, МПК7 G 01 V 9/00. Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами / Языков Е.Г., Шатилов А.Ю., Таловская А.В.; заявитель и патентообладатель. Томский политехн. ун-т. – № 2002127851; заявл. 17.10.2002; опубл. 27.05.2004.
84. Перельман, А. И. Геохимия эпигенетических процессов / А. И. Перельман. – М.: Недра, 1965. – 272 с.
85. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России / П. А. Кирюшин, А. Ю. Книжников, К. В. Кочи, Т. А. Пузанова, С. А. Уваров. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. – 88 с.
86. Природа, химический и фазовый состав энергетических зол челябинских углей / Э. В. Сокол, Н. В. Максимова, Е. Н. Нигматулина, А. Э. Френкель. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 107 с.
87. Пристова, Т. А. Характеристика снежного покрова в условиях аэротехногенного загрязнения предприятиями республики Коми / Т. А. Пристова, Е. В. Шамрикова // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 5. – С. 78–83.
88. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года / Н. А. Архипов, Ю. В. Галкин, А. А. Галкина и др. – М.: ИНЭИ РАН, 2014. – 173 с.
89. Прокачева, В. Г. Снежный покров в сфере влияния города / В. Г. Прокачева, В. Ф. Усачев. – Л.: Гидрометиздат, 1989. – 194 с.

90. Рапута, В. Ф. Модели реконструкции полей длительных выпадений аэрозольных примесей / В. Ф. Рапута // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – № 6. – С. 506–511.
91. Рапута, В. Ф. Реконструкция полей выпадений крупнодисперсных примесей от высотных аэрозольных источников / В. Ф. Рапута // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Т. 17. – № 12. – С. 316–320.
92. Рапута, В. Ф. Анализ аэрозольных выпадений в окрестностях ТЭЦ г. Новосибирска / В. Ф. Рапута, В. В. Коковкин, С. Е. Олькин и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 16. – № 5-6. – С. 546–551.
93. Раткин, Н. Е. Количественная оценка аэротехногенного загрязнения территории Мурманской области / Н. Е. Раткин, А. В. Шаблова // Теоретическая и прикладная экология. – 2008. – № 8. – С. 38–44.
94. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, А. А. Поцелуев, Л. П. Рихванов. – Кемерово: Изд-во КПК, 2000. – 246 с.
95. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932-83.– М.: Госкомгидромет, 1991. – 693 с.
96. Сарнаев, С. И. Оценка экологической обстановки в г. Северске по результатам геохимического исследования природных сред / С. И. Сарнаев, Л. П. Рихванов, А. Л. Мерзляков // Природокомплекс Томской области. Том 1. Геология и экология, Томск.: Изд. ТГУ. – 1995. – С. 224 – 231.
97. Свистов, П. Ф. Антропогенные осадки: происхождение, состав и свойства / П. Ф. Свистов // Экологическая химия. – 2011. – Т. 20. – № 2. – С. 105–113.
98. Скворцов, В. А. Твердые фазы аэрозолей в природно-технических системах городов Прибайкалья / В. А. Скворцов, Н. В. Федорова, В. П. Рогова и др. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 1. – С. 31–39.
99. Скрипко, Т. В. Влияние выбросов предприятий промышленного мегаполиса на состояние снежного покрова / Т. В. Скрипко, А. В. Елисеева // Омский научный вестник. – 2013. – № 2(124). – С. 110–113.
100. Смелов, Ю. Е. Пространственно-временная характеристика техногенного загрязнения природной среды Удмуртии : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Смелов Юрий Елисеевич. – Пермь, 2004. – 20 с.
101. Снег: справочник / Под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мэйла. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 751 с.
102. Соколов, И. С. О возможности изучения элементного состава снегового покрова при геохимическом картировании зон и областей внедрения глубинных флюидов

(нефтегазопроисковый аспект) / И. С. Соболев // Геология нефти и газа. – 2013. – № 1. – С. 68–77.

103. Природа, химический и фазовый состав энергетических зол Челябинских углей / Э. В. Сокол, Н. В. Максимова, Е. Н. Нигматулина, А. Э. Френкель. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 107 с.

104. Соловьянов, А. А. Сжигание попутного нефтяного газа и окружающая среда / А. А. Соловьянов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 6. – С. 21–28.

105. Сорокина, О. И. Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-батора / О. И. Сорокина, Н. Е. Кошелева, Н. С. Касимов и др. // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 159–170.

106. Таловская, А. В. Оценка эколого-геохимического состояния районов г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей : дис. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Таловская Анна Валерьевна. – Томск, 2008. – 185 с.

107. Таловская, А. В. Экспериментальные и численные исследования длительного загрязнения снегового покрова ураном и торием в окрестностях теплоэлектростанции (на примере Томской ГРЭС-2) / А. В. Таловская, В. Ф. Рапуга, Е. А. Филимоненко и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26. – № 8. – С. 642–646.

108. Таловская, А. В. Исследование состава пылевого аэрозоля на фоновой и городской станциях наблюдения в томском регионе зимой 2012/13 г / А. В. Таловская, Д. В. Симоненков, Е. А. Филимоненко и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. № 11. – С. 999–1005.

109. Таловская, А. В. Ртуть в пылеаэрозолях на территории г. Томска / А. В. Таловская, Е. А. Филимоненко, Н. А. Осипова и др. // Безопасность в техносфере. – 2012. – № 2. – С.30–34.

110. Таловская, А. В. Минерально-вещественный состав пылеаэрозолей на территории г. Томска / А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Сборник докладов XII научного Семинара «Минералогия техногенеза–2011». – Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. – С. 79 – 93.

111. Трифонова, Л. И. Климат / Л. И. Трифонова // География Томской области. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1988. – С. 42–76.

112. Угольная база России. Том 4. Свободный заключительный. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. – М.: Геоинформмарк, 2001. – 493 с.

113. Удачин, В. Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала : дис. ... д-ра. геол.-мин. наук : 25.00.09 / Удачин Валерий Николаевич. – Миасс, 2012. – 352 с.
114. Филимоненко, Е. А. Минералогия пылевых аэрозолей в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска / Е. А. Филимоненко, А. В. Таловская, Е. Г. Языков, Ю. В. Чумак, С. С. Ильенко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-3. – С. 760-765.
115. Фоменко, Е. В. Магнитные микросферы постоянного состава и их каталитические свойства в реакциях окислительного превращения метана: автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / Фоменко Елена Викторовна. – Красноярск, 1998. – 22 с.
116. Хвостов, И. В. Элементный состав аэрозоля, накапливаемого в снеговом покрове Алтайского края : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.36 / Хвостов Илья Владимирович. – Барнаул, 2007. – 109 с.
117. Цырульников, П. Г. Эффект термоактивации в каталитических системах MnOx/Al₂O₃ для процессов глубокого окисления углеводородов / П. Г. Цырульников // Российский химический журнал. – 2007. – Т. 51. – № 4. – С. 133–139.
118. Шакирова, А. Р. Геоэкологический анализ урбанизированных территорий: на примере г. Томска : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Шакирова Альбина Равильевна. – Томск, 2007. – 24 с.
119. Шатилов, А. Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна : дис. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Шатилов Алексей Юрьевич. – Томск, 2001. – 24 с.
120. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
121. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2008 году / ред. А.М. Адам, Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГУ «Облкомприрода» Администрации Том.обл. – Томск: Издательство «Оптимум», 2009. – 144 с.
122. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2009 году / ред. А.М. Адам, Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Оптимум», 2010. – 164 с.
123. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2010 году / ред. А.М. Адам; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Графика ДТР», 2011. – 144 с.

124. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / ред. А.М. Адам; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Том. обл., ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Издательство «Графика ДТР», 2012. – 166 с.

125. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области / ред. А. М. Адам; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Дельтаплан, 2013. — 172 с.

126. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области / ред. А. М. Адам; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Дельтаплан, 2014. – 194 с.

127. Экология Северного промышленного узла г. Томска. Проблемы и решения / Под редакцией А. М. Адама. – Томск: Изд-во ТГУ, 1994. – 260 с.

128. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л. П. Рихванов, Е. Г. Язиков, Ю. И. Сухих и др. – Томск, 2006. – 216 с.

129. Юдович, Я. Э. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 648 с.

130. Юсупов, Д. В. Минеральный и геохимический состав твердого осадка в снеговом покрове г. Благовещенск (Амурская область) / Д. В. Юсупов, В. А. Степанов, Н. В. Трутнева и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 184–189.

131. Юшкан, Е. И. Подвижные формы тяжелых металлов в аэрозолях и атмосферных осадках фонового района / Е. И. Юшка,. – Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Вып. 7. – Л.: Гидрометиздат, 1991.

132. Язиков, Е. Г. Содержание радиоактивных и редкоземельных элементов в аэрозольных выпадениях снегового покрова различных территорий Западной Сибири / Е. Г. Язиков, Л. П. Рихванов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. Международ. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 312–316.

133. Язиков, Е. Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири : дис. ... д-ра. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Язиков Егор Григорьевич. – Томск, 2006. – 423 с.

134. Язиков, Е. Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская, Л. В. Жорняк. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.

135. Янин, Е. П. Ртуть в окружающей среде промышленного города / Е. П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
136. Янин, Е. П. Ртуть в России: ресурсы, производство, потребление / Е. П. Янин // Ртуть. Проблемы геохимии, экологии, аналитики. Сборник научных трудов. – М.: ИМГРЭ, 2005. – С. 5–34.
137. Янченко, Н. И. Распределение некоторых химических элементов в снежном покрове в г. Братске / Н. И. Янченко, А. Н. Баранов, В. А. Ершов и др. // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 4(20). – С. 164–169.
138. Яценко, И. Г. Оценка экологического риска сжигания попутного нефтяного газа в Западной Сибири / И. Г. Яценко, Л. И. Сваровская, М. Н. Алексеева // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – № 6. – С. 560–564.
139. Akkoyunlu, B. O. Analyses of wet and bulk deposition in four different regions of Istanbul, Turkey / B. O. Akkoyunlu, M. Tayanc // Atmospheric Environment. – 2003. – V. 37. – № 25. – P. 3571–3579.
140. Arditsoglou, A. Size distribution of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in fly ashes generated in Greek lignite-fired power plants / A. Arditsoglou, Ch. Petaloti, E. Terzi et al. // Science of The Total Environment. – 2004. – V. 323. – № 1–3. – P. 153–167.
141. Baltreinaite, E. Integrated evaluation of aerogenic pollution by air-transported heavy metals (Pb, Cd, Ni, Zn, Mn and Cu) in the analysis of the main deposit media / E. Baltreinaite, P. Baltrenas, A. Lietuvninkas et al. // Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – V. 21. – № 1. – P. 299–313.
142. Bauer, C. F. Variability of particulate trace element emissions from the Columbia coal-fired power plant, Portage, Wisconsin / C. F. Bauer // Science of The Total Environment. – 1988. – V. 68. – P. 251–266.
143. Bem, H. Evaluation of technologically enhanced natural radiation near the coal-fired power plants in the Lodz region of Poland / H. Bem, P. Wieczorkowski, M. Budzanowski // Journal of Environmental Radioactivity. – 2002. – V. 61. – № 2. – P. 191–201.
144. Bernabe, J. M. Mineralogy and origin of atmospheric particles in the industrial area of Huelva (SW Spain) / J. M. Bernabe, M. I. Carretero, E. Galan // Atmospheric Environment. – 2005. – V. 39. – № 36. – P. 6777–6789.
145. Bonetta, Sa. DNA damage in A549 cells exposed to different extracts of PM_{2.5} from industrial, urban and highway sites / Sa. Bonetta, V. Gianotti, Si. Bonetta et al. // Chemosphere. – 2009. – V. 77. – № 7. – P. 1030–1034.

146. Bozlaker, A. Insights into PM10 sources in Houston, Texas: Role of petroleum refineries in enriching lanthanoid metals during episodic emission events / A. Bozlaker, B. Buzcu-Güven, M. P. Fraser et al. // *Atmospheric Environment*. – 2013. – V. 69. – P. 109–117.

147. Brown, P. The internal microstructure and fibrous mineralogy of fly ash from coal-burning power stations / P. Brown, T. Jones, K. Beruse // *Environmental Pollution*. – 2011. – V. 159. – № 12. – P. 3324–3333.

148. Bucko, M. S. Identification of magnetic particulates in road dust accumulated on roadside snow using magnetic, geochemical and micro-morphological analyses / M. S. Bucko, T. Magiera, B. Johanson et al. // *Environmental Pollution*. – 2011. – V. 159. – № 5. – P. 1266–1276.

149. Calvo, A. I. Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues / A. I. Calvo, C. Alves, A. Castro et al. // *Atmospheric Environment*. – 2013. – V. 120–121. – P. 1–28.

150. Ceburnis, D. In-stack emissions of heavy metals estimated by moss biomonitoring method and snow-pack analysis / D. Ceburnis, J. Sakalys, K. Armolaitis et al. // *Atmospheric Environment*. – 2002. – V. 36. – № 9. – P. 1465–1474.

151. Cereceda-Balic, F. Impact of Santiago de Chile urban atmospheric pollution on anthropogenic trace elements enrichment in snow precipitation at Cerro Colorado, Central Andes / F. Cereceda-Balic, M. R. Palomo-Marin, E. Bernalte et al. // *Atmospheric Environment*. – 2012. – V. 47. – P. 51–57.

152. Charro, E. Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain / E. Charro, R. Pardo, V. Pena // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013. – V. 124. – P. 84–92.

153. Chester, R. Factors controlling the solubilities of trace metals from non-remote aerosols deposited to the sea surface by the 'dry' deposition mode / R. Chester, K. J. T. Murphy, F. J. Lin et al. // *Marine Chemistry*. – 1993. – V. 42. – № 2. – P. 107–126.

154. Clarkson, T.W. Mercury: major issues in environmental health / T. W. Clarkson // *Environmental Health Perspectives*. – 1993. – V. 100. – P. 31–38.

155. Cordoba, P. Unusual speciation and retention of Hg at a coal-fired power plant / P. Cordoba, M. Maroto-Valer, C. Ayora et al. // *Environmental Science & Technology*. – 2012. – V. 46. – № 14. – P. 7890–7897.¹

156. Cordoba, P. Partitioning of trace inorganic elements in a coal-fired power plant equipped with a wet flue gas desulphurisation system / P. Cordoba, R. Ochoa-Gonzalez, O. Font et al. // *Fuel*. – 2012. – V. 92. – № 1. – P. 145–157.²

157. Davidson, C. Dry deposition and resuspension of trace elements in the Remote High Sierra / C. Davidson, R. W. Elias // *Geophysical Research Letters*. – 1982. – V. 9. № 1. – P. 91–93.
158. Desboeufs, K. V. Dissolution and solubility of trace metals from natural and anthropogenic aerosol particulate matter / K. V. Desboeufs, A. Sofikitis, R. Losno et al. // *Chemosphere*. – 2005. – V. 58. – № 2. – P. 195–203.
159. Drake, T. T. Snow pH and dust loading at Schefferville Quebec / T. T. Drake, T. R. Moote // *Canadian Geographer*. – 1980. – V. 24. – № 3. – P. 286–291.
160. Edgerton, E. S. Mercury speciation in coal-fired power plant plumes observed at three surface sites in the Southeastern U.S / E. S. Edgerton, B. E. Hartsell, J. J. Jansen // *Environmental Science and Technology*. – 2006. – V. 40. – № 15. – P. 4563–4570.
161. Elők, A. Monitoring of heavy metals in urban snow as indicator of atmosphere pollution / A. Elők // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. – 2002. – V. 82. – № 1. – P. 37–45.
162. Engrand, C. Isotopic compositions of oxygen, iron, chromium, and nickel in cosmic spherules: Toward a better comprehension of atmospheric entry heating effects / C. Engrand, K. D. McKeegan, L. A. Leshin et al. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2005. – V. 69. – № 22. – P. 5365–5385.
163. Ettala, M. The use of vertical snow sampling as an indicator of some emissions from point sources / M. Ettala, E. Kukkamäki, A. Tamminen // *Aqua Fennica*. – 1986. – V. 16. – P. 91–108.
164. Facemire, C. Impacts of mercury contamination in the southeastern United States / C. Facemire, T. Augspurger, D. Bateman et al. // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 1995. – V. 80. – P. 923–932.
165. Finkelman, R. B. Modes of occurrence of environmentally-sensitive trace elements in coal / R. B. Finkelman, D. J. Swaine, F. Goodarzi // *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. – 1995. – V. 2. – P. 24–50.
166. Flanders, P. Collection, measurements and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment / P. Flanders // *Journal of Applied Physics*. – 1994. – V. 75. – № 10. – P. 5931–5936.
167. Fruchter, J. S. Identification of solubility-controlling solid phases in a large fly ash field lysimeter / J. S. Fruchter, D. Rai, J. M. Zachara // *Environmental Science & Technology*. – 1990. – V. 24. – № 8. – P. 1173–1179.
168. Glass, H. D. High temperature phases from kaolinite and halloysite / H. D. Glass // *American Mineralogist*. – 1954. – V. 39. – P. 193–207.

169. Goodarzi, F. Assessment of elements, speciation of As, Cr, Ni and emitted Hg for a Canadian power plant burning bituminous coal / F. Goodarzi, F. E. Huggins, H. Sanei // *International Journal of Coal Geology*. – 2008. – V. 74. – № 1. – P. 1–12.

170. Gratz, L. E. Sources of mercury in precipitation to Underhill, VT / L. E. Gratz, G. J. Keeler // *Atmospheric Environment*. – 2001. – V. 45. – № 31. – P. 5440–5449.

171. Herzog, G. F. Isotopic and elemental composition of iron, nickel, and chromium in type I deep-sea spherules: implications for origin and composition of the parent micrometeoroids / G. F. Herzog, S. Xue, G. S. Hall et al. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1999. – V. 63. – № 9. – P. 1443–1457.

172. Hubbard, F. H. Clay and pyrite transformations during ignition of pulverized coal / F. H. Hubbard, R. J. McGill, R. K. Dhir et al. // *Mineralogical Magazine*. – 1984. – V. 48. – P. 251–256.

173. Huggins, F. E. XAFS spectroscopic characterization of elements in combustion ash and fine particulate matter / F. E. Huggins, N. Shah, G. P. Huffman et al. // *Fuel Processing Technology*. – 2000. – V. 65–66. – P. 203–218.

174. Jickells, T. D. Trace elements in snow samples from the Scottish Highlands: Sources and dissolved/particulate distributions / T. D. Jickells, T. D. Davies, M. Tranter et al. // *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*. – 1992. – V. 26. – № 3. – P. 393–401.

175. Jones, D. R. The leaching of major and trace elements from coal ash / D. R. Jones, D. J. Swaine, F. Goodarzi (Eds.), *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*, Springer. – 1995.

176. Joshi, U. M. Characteristics and environmental mobility of trace elements in urban runoff / U. M. Joshi, R. Balasubramanian // *Chemosphere*. – 2010. – V. 80. – № 3. – P. 310–318.

177. Kaya, G. Trace element and major ion composition of wet and dry depositon in Ankara, Turkey / G. Kaya, G. Tuncel // *Atmospheric Environment*. – 1997. – V. 31. – № 23. – P. 3985–3998.

178. Kukier, U. Composition and element solubility of magnetic and non-magnetic fly ash fractions / U. Kukier, C. F. Ishak, M. E. Sumner et al. // *Environmental Pollution*. – 2003. – V. 123. – № 2. – P. 255–266.

179. Kulkarni, P. Lanthanum and lanthanides in atmospheric fine particles and their apportionment to refinery and petrochemical operations in Houston, TX / P. Kulkarni, S. Chellama, M. P. Fraser // *Atmospheric Environment*. – 2006. – V. 40. – № 3. – P. 508–520.

180. Lee, J. A study of solute redistribution and transport in seasonal snowpack using natural and artificial tracers / J. Lee, V. E. Nez, X. Feng et al. // *Journal of Hydrology*. – 2008. – V. 357. – № 3–4. – P. 243–254.

181. Lettino, A. Provenance of inorganic aerosol using single-particle analysis: A case study / A. Lettino, S. Fiore // *Science of The Total Environment*. – 2013. – V. 463–464. – P. 404–413.
182. Li, W. Observation of nitrate coatings on atmospheric mineral dust particles / Li W., Shao L. // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2009. – V. 9. – P. 1863–1871.
183. Li, W. Physical and chemical characteristics of individual mineral particles in an urban fog episode / W. Li, L. Shao, Z. Shi et al. // *Environmental Sciences*. – 2008. – V. 29. – № 1. – P. 253–258. (In Chinese with English abstract)
184. Lu, S. G. Mineralogy and heavy metal leachability of magnetic fractions separated from some Chinese coal fly ashes / S. G. Lu, Y. Y. Chen, H. D. Shan et al. // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – V. 169. – № 1–3. – P. 246–255.
185. Maring, H. B. The impact of atmospheric aerosols on trace metal chemistry in open ocean seawater, 2. Copper. / H. B. Maring, R. A. Duce // *Earth and Planetary Science Letters*. – 1989. – V. 94. – P. 1039–1045.
186. McBride, J. P. Radiological impact of airborne effluents of coal and nuclear plants / J. P. McBride, R. E. Moore, J. P. Witherspoon et al. // *Science*. – 1978. – V. 202. – P. 1045–1050.
187. Meij, R. Trace elements in world steam coal and their behaviour in Dutch coal-fired power stations: a review / R. Meij, B. H. Winkel // *International Journal of Coal Geology*. – 2009. – V. – 77. – № 3–4. – P. 289–293.
188. Meili, M. The coupling of mercury and organic matter in the biogeochemical cycle e towards a mechanistic model for the boreal zone / M. Meili // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1991. – V. 56. – № 1. – P. 333–347.
189. Osada, K. Deposition processes of ionic constituents to snow cover / K. Osada, Y. Shido, H. Iida et al. // *Atmospheric Environment*. – 2010. – V. 44. – № 3. – P. 347–353.
190. Pacyna, E. G. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020 / E. G. Pacyna, J. M. Pacyna, K. Sundseth et al. // *Atmospheric Environment*. – 2010. – V. 44. – № 20. – P. 2487–2499.
191. Pardo, F. Settlement of particulate matter in a ceramic cluster (NE, Spain) during the years 2000–2005 / F. Pardo, T. Sanfeliu, A. Soriano et al. // *Applied Clay Science*. – 2012. – V. 70. – P. 45–50.
192. Pina, A. A. Scanning electron microscope and statistical analysis of suspended heavy metal particles in San Luis Potosi, Mexico / A. A. Pina, G. T. Villasenor, M. M. Fernandez et al. // *Atmospheric Environment*. – 2000. – V. 34. – № 24. – P. 4103–4112.
193. Pirrone, N. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources / N. Pirrone, S. Cinnirella, X. Feng et al. // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2010. – V. 10. – P. 5951–5964.

194. Post, J. E. Characterization of individual particles in the Phoenix urban aerosol using electron-beam instruments / J. E. Post, P. R. Buseck // *Environmental Science & Technology*. – 1984. – V. 18. – № 1. – P. 35–42.
195. Praharaj, T. Leachability of elements from sub-bituminous coal fly ash from India / T. Praharaj, M. A. Powell, B. R. Hart et al. // *Environment International*. – 2002. – V. 27. – № 8. – P. 609–615.
196. Querol, X. Mineral composition of atmospheric particulates around a large coal-fired power station / X. Querol, A. Alastuey, A. Lopez-Soler et al. // *Atmospheric Environment*. – 1996. – V. 30. – № 21. – P. 3557–3572.
197. Querol, X. Trace elements in coal and their behavior during combustion in a large power station / X. Querol, J. Fernandez-Turiel, A. Lopez-Soler // *Fuel*. – 1995. – V. 74. – № 3. – P. 331–343.
198. Querol, X. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain / X. Querol, M. Viana, A. Alastuey et al. // *Atmospheric Environment*. – 2007. – V. 41. – № 34. – P. 7219–7231.
199. Raask, E. Characteristics of captured ash, chimney solids and trace elements / E. Raask, L. Goetz // *Journal of the Institute of Energy*. – 1981. – V. 54. – № 1. – P. 163–173.
200. Rallo, M. Mercury policy and regulations for coal-fired power plants / M. Rallo, M. A. Lopez-Anton, M. L. Contreras et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2012. – V. 19. – № 4. – P. 1084–1086.
201. Raputa, V. F. Optimization of aerosol dispersion measurements model by screen diffusion batteries / V. F. Raputa, G. T. Jakovenko, K. P. Koutsenogii // *Journal of Aerosol Science*. – 1997. – V. 28. – P. 1001. – № SUPPL.1.
202. Reynolds, R. L. Composition of dust deposited to snow cover in the Wasatch Range (Utah, USA): Controls on radiative properties of snow cover and comparison to some dust-source sediments / R. L. Reynolds, H. L. Goldstein, B. M. Moskowitz et al. // *Aeolian Research*. – 2014. – V. 15. – P. 73–90.
203. Sakai, H. Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollution / H. Sakai, T. Sasaki, K. Saito // *Science of the Total Environment* – 1988. – V. 77. – № 2–3. – P. 163–174.
204. Satsangi, P. G. Characterization of PM_{2.5} by X-ray diffraction and scanning electron microscopy–energy dispersive spectrometer: its relation with different pollution sources / P. G. Satsangi, S. Yadav // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2014. – V. 11. – № 1. – P. 217–232.

205. Savichev, O. G. Atmospheric losses in the middle Ob river basin and their influence on a hydrochemical runoff of the rivers / O. G. Savichev, A. O. Ivanov // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2010. – № 1. – С. 63–70.
206. Sen-lin, L. U. Mineralogical characterization of airborne individual particles in Beijing PM100 / L. U. Sen-lin, S. Long-yi, W. U. Ming-hong et al. // Journal of Environmental Sciences. – 2006. – V. 18. – № 1. – P. 90–95.
207. Seredin, V. V. The Au–PGE Mineralization at the Pavlovsk Brown Coal Deposit, Primorye / V. V. Seredin // Geology of Ore Deposits. – 2004. – V. 46. – № 1. – P. 36–63.
208. Shendrikar, A. Sampling and measurement of trace element emissions from particulate control devices / A. Shendrikar, D. Ensor. – Toxic Metals in the Atmosphere (edited by Nriagu J. O. and Davidson C. I.), New York. – P. 53.
209. Shiller, A. M. Dissolved rare earth elements in a seasonally snow-covered, alpine/subalpine watershed, Loch Vale, Colorado / A. M. Shiller // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2010. № 74. – P. 2040–2052.
210. Smolka-Danielowska, D. Rare earth elements in fly ashes created during the coal burning process in certain coal-fired power plants operating in Poland – Upper Silesian Industrial Region / D. Smolka-Danielowska // Journal of Environmental Radioactivity. – 2010. – V. 101. – № 11. – P. 965–968.
211. Song, X. Mineralogical and geochemical composition of particulate matter (PM10) in coal and non-coal industrial cities of Henan Province, North China / X. Song, L. Shao, Q. Zheng et al. // Atmospheric Research. – 2014. – V. 143. – P. 462–472.
212. Sood, S. K. Scavenging by snow and ice crystals. Proc. of Symp. on Precipitation Scavenging / S. K. Sood, M. R. Jackson, Div. Tech. Inf., USAEC, Washington D.C. – 1970. – P. 121–136.
213. Tchounwou, P. B. Review: environmental exposure to mercury and its toxicopathologic implications for public health / P. B. Tchounwou, W. K. Ayensu, N. Ninashvili et al. // Environmental Toxicology. – 2003. – V. 18. – № 1. – P. 149–175.
214. Vassilev, S. V. Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 2. Characterization of ceramic cenosphere and salt concentrates / S. V. Vassilev, R. Menendez, M. Diaz-Somoano et al. // Fuel. – 2004. – V. 83. – № 4–5. – P. 585–603.
215. Vassilev, S. Geochemistry of coals, coal ashes and combustion wastes from coal-fired power stations / S. Vassilev, C. Vassileva // Fuel Processing Technology. – 1997. – V. 51. – № 1–2. – P. 19–45.

216. Veysseyre, A. Heavy metals in fresh snow collected at different altitudes in the Chamonix and Maurienne valleys, French Alps: initial results / A. Veysseyre, K. Moutard, C. Ferrari et al. // *Atmospheric Environment*. – 2001. – V. 35. – № 2. – P. 415–425.

217. Viklander, M. Substances in Urban Snow. A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Lulea, Sweden / Viklander M. // *Water Air Soil Poll.* – 1999. – V. 114. – № 3–4. P. 377–394.

218. Viskari, E. L. Airborne pollutants along a roadside: Assessment using snow analyses and moss bags / E. L. Viskari, R. Rekila, S. Roy // *Environmental Pollution*. – 1997. – V. 97. – № 1–2. – P. 153–160.

219. Voutsas, D. Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas / D. Voutsas, C. Samara // *Atmospheric Environment*. – 2002. – V. 36. – № 22. – P. 3583–3590.

220. Warren, C. J. Leaching behavior of selected trace elements in chemically weathered alkaline fly ash / C. J. Warren, M. J. Dudas // *Science of the Total Environment*. – 1988. – V. 76. – № 2–3. – P. 229–246.

221. Weiss, D. Atmospheric Pb deposition since the industrial revolution recorded by five Swiss peat profiles: Enrichment factors, fluxes, isotopic composition, and sources / D. Weiss, W. Shotyk, P. G. Appleby et al. // *Environmental Science and Technology*. – 1999. – V. 33. – № 9. – P. 1340–1352.

222. Yossifova, M. Mineralogy and environmental geochemistry of lagooned ashes resulted from combustion of Maritza East lignite, Bulgaria / M. Yossifova, S. Valceva, E. Djourova // *International Journal of Coal Geology*. – 2007. – V. 71. – № 2–3. P. 287–302.

223. Yossifova, M. G. Petrography, mineralogy and geochemistry of Balkan coals and their waste products / M. G. Yossifova // *International Journal of Coal Geology*. – 2014. – V. 122. – P. 1–20.

224. Zhao, Y. C. Mineralogy, chemical composition, and microstructure of ferrospheres in fly ashes from coal combustion / Y. C. Zhao, J. Y. Zhang, J. M. Sun et al. // *Energy Fuels*. – 2006. – V. 20. – № 4. – P. 1490–1497.

225. Прогноз развития энергетики: основные перспективы до 2040 г. [Электронный ресурс]. 2013. URL: http://www.exxonmobil.ru/Russia-Russian/PA/Files/US_Outlook_for_Energy_2012_2013_Highlights_Russian_FINAL.pdf (дата обращения: 23.06.2015).

226. Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области [Офиц. сайт]. URL: <http://www.green.tsu.ru/dep/> (дата обращения: 23.06.2015).