



**ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

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

*На правах рукописи*

Таловская Анна Валерьевна

**ЭКОГЕОХИМИЯ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮГА СИБИРИ  
(ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА  
СНЕГОВОГО ПОКРОВА)**

1.6.21. – Геоэкология

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

Научный консультант:  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Язиков Е.Г.

Томск – 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНЕГОВОГО ПОКРОВА.....	17
1.1. Основные представления об аэрозолях и их влиянии на здоровье человека.....	14
1.2. Использование снегового покрова как планшета-накопителя атмосферных аэрозолей для эколого-геохимической оценки территорий.....	24
2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ЮГА СИБИРИ.....	32
2.1. Основные черты природно-климатических условий.....	32
2.2. Геоэкологическая характеристика атмосферного воздуха и снегового покрова.....	39
3. МЕТОДИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	58
3.1. Методика отбора и подготовки проб снегового покрова.....	58
3.2. Аналитические методы исследования состава проб.....	66
3.3. Методика обработки данных лабораторно-аналитических исследований.....	79
3.4. Эксперименты по биотестированию нерастворимого осадка снегового покрова.....	89
4. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ И СОСТАВА АЭРОЗОЛЕЙ, ОСЕВШИХ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ, НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮГА СИБИРИ.....	92
4.1. Оценка уровня пылевой нагрузки на урбанизированные территории в зимний период.....	92
4.2. Геохимическая характеристика нерастворимого осадка снегового покрова..	97
4.3. Минерально-вещественная характеристика нерастворимого осадка снегового покрова.....	124
4.4. Динамика пылевой нагрузки и геохимических особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова на территории г. Томска.....	146
5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕГОВОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	165
5.1. Краткая характеристика предприятий теплоэнергетики.....	165
5.2. Уровень пылевой нагрузки.....	166
5.3. Геохимические характеристики нерастворимого осадка снегового покрова..	169
5.4. Характеристика минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снега.....	185
5.5. Многолетняя динамика пылевой нагрузки и гранулометрический состав нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска.....	201

5.6. Многолетняя динамика формирования геохимических особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска.....	206
5.7. Гидрохимическая характеристика снеговой воды и распределение химических элементов в системе «твердый осадок снегового покрова–снеговая вода» в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска.....	213
6. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕГОВОГО ПОКРОВА.....	220
6.1. Краткая природно-климатическая и геоэкологическая характеристика области.....	220
6.2. Пространственный анализ распределения пылевой нагрузки и минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова на территории области.....	225
6.3. Геохимические особенности нерастворимого осадка снегового покрова на территории области.....	230
6.4. Пространственное распределение химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории области.....	238
6.5. Факторная модель распределения уровней концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории области...	259
6.6. Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия локальных объектов теплоэнергетики в области.....	264
7. ТИПИЗАЦИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА СИБИРИ ПО АТМОТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ НА СРЕДУ ОБИТАНИЯ.....	273
7.1. Краткий обзор типизаций эколого-геохимического состояния урбанизированных территорий.....	273
7.2. Разработанные подходы к типизации урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания на основе изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова.....	275
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	314
ЛИТЕРАТУРА.....	319

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследований.** Одной из важнейших геоэкологических проблем урбанизированных территорий является влияние атмосферных аэрозолей на качество атмосферного воздуха (Ивлев, 1982; Seinfeld et al., 1998; 2006; Аэрозоли..., 2006; Juethi, 2016). Основным фактором в загрязнении атмосферы считаются аэрозоли твердых частиц (Янин, 2003; Касимов и др., 2014; Обзор..., 2019). В разных странах, по современным оценкам, поступление твердых частиц за счет сжигания топлива расценивается на уровне 5–45%, а от промышленных источников – 10–35% (Янин, 2003; Karagulian et al., 2015; Норке et al., 2020). Твердые частицы при этом оказывают негативное воздействие на здоровье населения (Величковский, 2002; Pore и Dockery, 2006; WHO, 2015; Veremchuk et al., 2018; Jaafari et al., 2021).

На урбанизированных территориях юга Сибири, крупного промышленно-сырьевого региона страны, техногенными источниками воздействия на среду обитания являются предприятия различных отраслей производства (топливная, металлургическая, машиностроительная, химическая, нефтехимическая, атомная, горнопромышленная, теплоэнергетика и др.) (Адам, 2003; Касимов и др., 2014; Госдоклад..., 2018). Эти предприятия представляют собой мощные источники загрязняющих веществ, в т.ч. и твердых частиц, эмиссии которых вносят свой вклад в формирование повышенного и высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха (Госдоклад..., 2018), а также определяют потенциальный экологический риск для населения (Битюкова и др., 2011; Касимов и др., 2014). Существенна роль твердых частиц в концентрировании химических элементов, которые включаются в глобальные, региональные и локальные геохимические миграционные потоки. Для юга Сибири актуальны фундаментальные исследования влияния техногенных факторов на пространственно-временные закономерности образования, трансформации, переноса аэрозолей для выявления их основных источников и стоков (Аэрозоли..., 2006).

Существенный вклад в развитие научных знаний о микрофизических, химических и биологических характеристиках атмосферных аэрозолей Сибири внесли ученые институтов РАН и других научно-исследовательских организаций, что отражено в коллективной монографии (Аэрозоли Сибири, 2006 г., под ред. К.П. Куценого) и многочисленных публикациях авторских коллективов (Б.Д. Белан, М.В. Панченко, Д.В. Симоненков, В.С. Козлов, Е.П. Яушева, С.А. Терпугова, М.Ю. Аршинов, В.Ф. Рапута, В.В. Пененко, А.А. Виноградова, В.П. Шевченко, Т.В. Ходжер, Л.П. Голобокова, Г.С. Жамсуева, А.С. Сафатов и др.).

Использование снегового покрова как планшета-накопителя аэрозольных выпадений из атмосферы является весьма актуальным для определения их состава, источников и дальности переноса, а также для оценки эколого-геохимического состояния урбанизированных территорий на региональном и локальном уровнях (Методические рекомендации ИМГРЭ, 1982; Глазовский

и др., 1983; Василенко и др., 1985; Линник, 1985; Геохимия..., 1990; Касимов и др., 1990; 1995; 2014; 2016; Бояркина и др., 1993; Davidson и др., 1996; Ажаев, 2007; Белан, 2007; Шевченко и др., 2006; 2015; 2020; Zhang et al., 2013; Кошелева и др., 2012; Котова, 2013; Сорокина, 2013; Воронцова, 2013; Голохваст, 2014; Baltrėnaitė et al., 2014; Siudek et al., 2014; Удачин, 2014; Власов и др., 2015; 2020; Тентюков, 2016; Taras̆kevič̆ius et al., 2017; Кудерина и др., 2018; Gustaytis et al., 2018; Gabersek и Gosar, 2020).

В Сибири, с резко-континентальным климатом, продолжительность периода с устойчивым снеговым покровом достигает 5–6 месяцев, что исключает поступление местной литогенной составляющей. Этот период является наиболее благоприятным для накопления в снежной толще (до 80–90 см) продуктов техногенеза. Таким образом, Сибирь это крайне удобный регион для изучения механизмов формирования состава аэрозолей под влиянием техногенных источников и оценки масштабов антропогенного воздействия на урбанизированных территориях с использованием снегового покрова в качестве депонирующей среды.

В Сибири исследования аэрозолей с помощью снегового покрова в разные периоды проводились научными группами, например, из Новосибирска (В.Ф. Рапута, В.В. Коковкин, С.Б. Бортникова, А.Ю. Девятова, С.Ю. Артамонова, Ю.В. Ермолов), Тюмени (Д.В. Московченко, Р.Ю. Пожитников, В.А. Боев, Н.С. Ларина), Горно-Алтайска (Ю.В. Робертус, В.А. Ситникова), Барнаула (А.В. Пузанов, И.В. Хвостов, И.П. Чефранов, Т.С. Папина, Т.В. Носкова), Кемерово (Н.В. Журавлева, В.А. Некипелый, С.А. Некипелова), Москвы (В.П. Шевченко), Томска (А.П. Бояркина, Н.В. Ильченко, А.Ю. Иванов, А.И. Летувнинкас, Л.П. Рихванов, А.Ю. Шатилов, Е.Г. Языков), Иркутска (Н.И. Янченко, А.Н. Баранов, В.И. Гребенщикова, Б.А. Бычинский, М.С. Холодова, Л.М. Филимонова, Н.А. Онищук, Н.Д. Давыдова, Т.И. Знаменская, Г.П. Королева, В.П. Рогова, В.А. Скворцов, И.А. Белозерцева, Н.В. Федорова), Кызыла (И.Д. Кара-Сал, Л.Х. Тас-Оол) и Улан-Удэ (А.В. Украинцев, Д.И. Жамбалова).

Несмотря на повышенный интерес к исследованию аэрозолей Сибири с использованием снегового покрова, их геохимические и минерально-вещественные характеристики, а также факторы, определяющие их формирование в городах не в полной мере изучены. Существует недостаток знаний о экогеохимии широкого спектра химических элементов, включая слабоизученные в геохимическом плане редкоземельные элементы, а также мало сведений о техногенных образованиях в составе аэрозолей, осевших в снеговом покрове на урбанизированных территориях. В последние два десятилетия (2001–2019 гг.) проведены систематические эколого-геохимические исследования аэрозолей с использованием снегового покрова на многих промышленно-урбанизированных территориях юга Сибири при личном участии автора. За многолетний период исследований накоплен обширный фактический материал, позволяющий на современной лабораторно-аналитической базе выполнить

комплексное изучение минералого-геохимических характеристик состава атмосферных аэрозолей, формирующихся под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности в регионе.

**Объектом исследований** является нерастворимый осадок снегового покрова, который формируется аэрозольными частицами, осевшими в снеговой покров в результате процессов сухого и влажного осаждения, на урбанизированных территориях юга Сибири.

**Предметом исследований** выступает пылевая нагрузка, химический и минерально-вещественный состав нерастворимого (твердого) осадка снегового покрова.

**Цель исследований** – выявить закономерности формирования химического и минерально-вещественного состава атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири с разными условиями техногенеза по данным изучения нерастворимого осадка снегового покрова; разработать подходы к типизации территорий в регионе по атмотехногенному воздействию на среду обитания для оценки экологического состояния.

**Задачи исследований:**

1. Определить уровни пылевой нагрузки, концентрации широкого спектра химических элементов, формы их нахождения, соотношение видов техногенных и природных образований в составе нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири, подвергаемых воздействию разнопрофильных промышленных предприятий (теплоэнергетические, нефтеперерабатывающие, металлургические, машиностроительные и металлообработывающие, нефтегазовые, горнопромышленные, стройиндустрии).

2. Изучить закономерности распределения пылевой нагрузки и минералого-геохимические особенности состава нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири для определения специфики их влияния на урбанизированных территориях в зимний период.

3. Изучить пространственно-временную динамику пылевой нагрузки и химического состава нерастворимого осадка снегового покрова на промышленно-урбанизированной территории юга Западной Сибири по данным многолетнего мониторинга (2007–2018 гг.).

4. Оценить пространственную изменчивость уровней накопления макро- и микроэлементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории Томской области на основе эколого-геохимического районирования.

5. Обосновать комплекс критериев и признаков атмотехногенного воздействия, отражающие промышленное освоение городов, особенности формирования уровня пылевой нагрузки, геохимических и минерально-вещественных характеристик нерастворимого осадка снегового покрова в различных условиях техногенеза, в качестве основы проведения типизации урбанизированных территорий юга Сибири.

### **Фактический материал и методы исследования.**

В основу диссертационной работы положены материалы, полученные при личном участии автора в процессе проведения научно-исследовательских работ на территории юга Сибири в период 2001–2019 годы. Исследования выполнялись автором во время обучения и работы на кафедре геоэкологии и геохимии (в н.в. отделение геологии) Томского политехнического университета в рамках грантов, хоздоговоров и инициативных работ.

Исследования осуществлялись при поддержке 12 грантов, включая шесть грантов под руководством автора – гранты Президента РФ для молодых кандидатов наук (МК 951.2013.5, 2013–2014 гг.), компании British Petroleum (2013, 2016 гг.), ТПУ на проведение молодыми учеными научных исследований (2008 г.), программы У.М.Н.И.К. (2007–2008 гг.) и Германской службы академической мобильности (DAAD, 2007 г.), а также шесть грантов, одним из исполнителей которых являлся автор, – гранты компании British Petroleum (2014, 2015, 2017 гг.), РГО (2015 г.) и РФФИ (16-45-700184p\_a, 2016–2018 гг.; 20-05-00675A, 2020–2022 гг.).

Работы также проводились с участием автора в рамках хоздоговоров с ОАО «Томскгеомониторинг» согласно «Программе ведения государственного мониторинга состояния недр на территории Томской области» (2005–2008 гг.), ООО «Хакасразрезуголь» (2008 г.) и ООО «Сорский ГОК» (2015–2017 гг.).

В основу работы положены результаты исследования *2056 проб снегового покрова (с суммарным весом ~ 35 тыс. кг снега)*. Пробы отобраны, подготовлены и изучены во время полевых, камеральных и лабораторно-аналитических работ, выполненных с участием автора.

При личном участии автора сбор основного фактического материала выполнялся на территории юга Сибири – в Томской области (Томск, Северск, Асино, Стрежевой, Колпашево, 113 сельских населенных пункта), Кемеровской (Кемерово, Юрга, Междуреченск, Новокузнецк, Киселевск, Топки, Мыски), Омской (г. Омск) и Новосибирской (г. Искитим) областях, в Красноярском крае (Красноярск, Ачинск) и Республике Хакасии (Сорск, Черногорск), а также в Павлодарской (г. Павлодар), Восточно-Казахстанской (г. Усть-Каменогорск) областях Республики Казахстан. Исследования также осуществлялись в Центральном Казахстане (г. Караганда, Республика Казахстан).

С разной степенью детализации изучена *21 урбанизированная территория* с различной спецификой техногенеза и природно-ландшафтными условиями.

Площадная снегогеохимическая съемка (масштаб 1:50000 и 1:100000) выполнена на территории *10 городов* – Омск, Томск, Юрга, Междуреченск, Топки, Асино, Колпашево, Стрежевой, Сорск и Караганда. Векторная сеть наблюдений (от 0,5 до 5,5 км от источника) с учетом главенствующего направления ветра использовалась в зоне воздействия *27 предприятий* различных отраслей производства (теплоэнергетическая, нефтехимическая,

нефтеперерабатывающая, металлургическая, машиностроительная, угле- нефте- и горнодобывающая, стройиндустрия), расположенных в 18 изучаемых городах. Для изучения многолетней динамики аэрозольного загрязнения в зависимости от преобразований в структуре промышленного сектора в качестве модельного объекта выбран г. Томск.

Отбор и подготовка проб снегового покрова осуществлялись по единообразной методике в соответствии с нормативно-методическими документами (РД 52.04.186-89; Методические рекомендации ИМГРЭ..., 1982; Методические рекомендации №5174-90, утвержденные главным государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 г.). Вес каждой пробы снегового покрова для получения массы нерастворимого осадка, необходимой для выполнения аналитических исследований, составлял *не менее 17 кг*, а в отдельных случаях и *150 кг*.

Аналитические исследования состава проб нерастворимого осадка снегового покрова выполнены высокочувствительными современными методами в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения. Достоверность аналитических результатов контролировалась внутренним и внешним контролем, параллельным анализом разными методами.

Значительная часть определений количественного содержания 27 химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова выполнена инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА, *1831 проба*) в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии (в н.в. отделение геологии) на базе учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» ТПУ (аналитики: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). На базе реактора также осуществлялся метод f-радиографии для анализа делящихся радионуклидов.

Содержание 60 химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова определялось масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС, *300 проб*) в ХАЦ «Плазма» (г. Томск, директор: Н.В. Федюнина).

В лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ в пробах проводилось измерение содержания ртути методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААСМ, *1343 пробы*; РА-915+ с приставкой ПИРО-915), определение минерально-фазового состава с помощью порошковой рентгеновской дифрактометрии (*87 проб*; дифрактометр Bruker D2 PHASER; ДРОН 3М), исследование микрочастиц методом электронной сканирующей микроскопии (*74 пробы, 1580 частиц*; сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N с ЭДС приставкой Bruker XFlash 4010) и микроскопическим методом (*987 проб*; бинокулярный стереоскопический микроскоп МБС-9; Leica ZN 4D с видео приставкой). Данными методами также выполняли анализ состава образцов промышленной пыли и сырья с некоторых предприятий. В НОЦ «Наноцентр» ТПУ осуществляли изучение гранулометрического состава отдельных проб методом лазерной дифракции (анализатор SALD-7101 фирмы Shimadzu; аналитик: А.А. Леонов).



В рамках научных стажировок аналитическое изучение отдельных проб проводилось методами сканирующей электронной микроскопии, ИСП-МС и рентгеновской дифрактометрии в Университете Карлсруэ (г. Карлсруэ, Германия); ИСП-МС (определение  $U^{235}$  и  $U^{238}$ ) в Центре радиоэкологии окружающей среды Норвежского университета наук о жизни (г. Ос, Норвегия); лазерной дифракции в НОЦ «Нанотехнологии» Дальневосточного федерального университета (г. Владивосток); сканирующей электронной микроскопии в Карагандинском государственном техническом университете (г. Караганда, Республика Казахстан).

При личном участии автора осуществлялось определение биологического влияния нерастворимого осадка снегового покрова методом биотестирования на *Drosophila melanogaster* (67235 дрозофил, 30 проб) в лабораториях Сибирского государственного медицинского университета (г. Томск, консультанты: профессор Н.Н. Ильинских, ассистент Н.А. Новикова), на *Paramecium caudatum* (20 проб) в ОАО «Томскгеомониторинг» (г. Томск, зав. лабораторией: Т.Д. Кириленко, консультант: аналитик Н.И. Мазурина).

В работу включены результаты изучения химического состава отдельных проб снеговой воды, проанализированные методами ИСП-МС (ХАЦ «Плазма»), атомно-абсорбционной спектроскопии «холодного пара» (МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ), ионной хроматографии, потенциометрии, титриметрии, кондуктометрии и фотоколориметрии (НОЦ «Вода» ТПУ, руководители: к.г.-м.н. Ю.Г. Копылова, к.г.-м.н. А.А. Хвашевская).

Обработка полученных данных включала определение эколого-геохимических показателей в соответствии с методическими рекомендациями ИМГРЭ (1982; 1990) – пылевая нагрузка ( $P_n$ ); коэффициент концентрации ( $K_c$ ); выпадение химических элементов на снеговой покров ( $P_{общ}$ ); коэффициент превышения выпадений над фоном ( $K_p$ ); суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) и нагрузки ( $Z_p$ ); статистический анализ в ПО «Statistica» по учебному пособию (Михальчук и Язиков, 2015); картографическое представление данных в ПО «Surfer» (метод Kriging) и ПО «Corel Draw». Проводился расчет  $Z_c$  и  $Z_p$  как для 28 элементов, так и для 60 элементов, содержания которых измерены различными методами анализа. По величинам  $P_n$ ,  $Z_c$  и  $Z_p$  определялся уровень загрязнения и экологической опасности по общепринятым градациям (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012). По величинам  $P_n$  предложена и использована градация уровня загрязнения относительно фона. Приняты оценки фона для пылевой нагрузки ( $<20$  мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) и содержания 27 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова по литературным данным (Шатилов, 2001; Язиков, 2006). Также в качестве фоновых уровней использованы результаты автора по измерению химического состава проб (до 60 элементов), по изучению соотношения природных и техногенных образований в пробах из района Обсерватории «Фоновая» Института оптики атмосферы (ИОА) СО РАН.

**Защищаемые положения:**

1. Промышленный техногенез на урбанизированных территориях юга Сибири формирует средний (60–240 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) и высокий (240–600 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) уровни пылевой нагрузки относительно фона (<20 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)). Техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова контрастно проявляется в спектре макро- и микроэлементов, уровни концентрации которых в 2–140 раз выше фоновых значений, что определяется видами функционирующих промышленных предприятий и пространственно-временной динамикой формирования геохимических ореолов. В зонах техногенеза в минерально-вещественном составе нерастворимого осадка снегового покрова комплекс техногенных образований включает специфичные виды микрочастиц металлов и металлоидов (в форме сульфидов, сульфатов, оксидов, фосфатов, интерметаллидов, ≤5%), микроминеральных фаз (силикаты, карбонаты, фториды, ферриты, сульфиды, окислы, ≤25%) и прочих компонентов (частицы шлаков, стройматериалов, угля, микросферулы, ≤70%), которые характеризуют воздействие разнопрофильных промышленных предприятий.

2. Уровень пылевой нагрузки в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири изменяется от 56 до 880 мг/(м<sup>2</sup>·сут.). По мере удаления от источников выбросов (высота 100–150 м), наибольший уровень пылевой нагрузки (79–790 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) формируется на расстоянии до 1,3 км, а в пределах 1,3–2,3 км уровень нагрузки снижается в среднем в 2 раза (43–268 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)). В качестве элементов-индикаторов, отражающих геохимические особенности состава нерастворимого осадка снегового покрова, установлены лантаноиды, Y, Sc, U, Th, Nb, Hf, Ta, Ge, Ga, Zr, Hg. Характерным при этом является наличие микрочастиц, представленных в форме редкоземельных фосфатов, а в отдельных случаях оксидов урана. Минерально-вещественная специфика обусловлена присутствием микросферул различного состава (алюмосиликатные, алюмосиликатно-железистые, железистые, лантан-цериевые и иттриевые) и отношением муллит/кварц (0,2–3,1, при фоне 0,01 ед.).

3. На основе эколого-геохимического районирования территории Томской области в нерастворимом осадке снегового покрова установлены повышенные концентрации U, Ba, Na, Zn, Ta, Sr, Hg, Br, Hf, Th, Sb и лантаноидов относительно фона. Выделены при этом три основные техногенные геохимические субпровинции разного генезиса и локализации: полиэлементная с ассоциацией лантаноиды-U-Th-Ta-Sc-Cs-Hf-Hg-Sr-Ba-Co в районах с повышенной пылевой нагрузкой Томск–Северской промышленной агломерации и угольной теплоэнергетики; ртутно-бромная в районах размещения объектов теплоэнергетики; натриевая в зоне воздействия нефтегазодобывающих предприятий.

4. Разработана и проведена типизация урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания, подходы к которой основаны на критериях и

признаках, характеризующих промышленно-урбанизированное освоение территорий и аэрозольное загрязнение, отражающие закономерности формирования уровня пылевой нагрузки, геохимических и минерально-вещественных особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова, для оценки экологического состояния территорий.

#### **Научная новизна работы.**

1. Впервые изучены закономерности распределения уровня пылевой нагрузки, широкого спектра химических элементов и техногенных образований в атмосферных аэрозолях по результатам комплексного исследования состава нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири с разными условиями техногенеза в современный период (2007–2019 гг.) развития промышленных предприятий (теплоэнергетические, нефтеперерабатывающие, металлургические, машиностроительные, металлообрабатывающие, нефтегазовые, горнопромышленные, стройиндустрии).

2. В зонах воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири установлены уровни пылевой нагрузки и выявлены закономерности их изменений в зависимости от расстояния до источника выбросов. Выполнена оценка редкометалльной (лантаноиды, Y, Sc, U, Th, Nb, Hf, Ta, Ge, Ga, Zr) и ртутной техногенной геохимической специализации нерастворимого осадка снегового покрова. Определены индикаторные показатели отношения микроминеральных фаз (муллит/кварц), техногенные микросферулы, микрочастицы редкоземельного и уранового состава.

3. На основе данных многолетнего (2007–2018 гг.) мониторинга изучена пространственно-временная динамика формирования пылевой нагрузки и геохимических ореолов в снеговом покрове на территории города юга Западной Сибири с учетом преобразований в структуре промышленного сектора и изменений топливного баланса на объекте теплоэнергетики.

4. Впервые проведено эколого-геохимическое районирование территории Томской области по геохимическим особенностям состава нерастворимого осадка снегового покрова, определена региональная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова, установлена пространственная локализация техногенных геохимических зон, сформированных выбросами промышленности и объектов теплоэнергетики.

5. Научно обоснованы подходы к типизации урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания на основе систематизации результатов изучения уровня пылевой нагрузки, геохимических и минерально-вещественных особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова в современный период (2007–2019 гг.) на территории 21 города в регионе. Используя авторский фактический материал и литературные данные, проведена типизация 34 промышленно-урбанизированных территорий региона на

основе разработанных подходов, в результате которой выявлены и охарактеризованы районы с различным экологическим состоянием.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Диссертационная работа вносит значимый вклад в развитие современных научных направлений, связанных с изучением геохимии окружающей среды, экологической минералогии и геоэкологии. Результаты работы расширяют научные знания о минералого-геохимических характеристиках атмосферных аэрозолей в разных условиях техногенеза на юге Сибири по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова.

Выполненные исследования геохимической и минерально-вещественной специализации состава нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири позволяют идентифицировать источники аэрозолей и выделять геоиндикаторы изменения атмосферы под влиянием техногенеза. Это дает возможность на качественно новом уровне проводить изучение региональных изменений в составе атмосферного воздуха и трансграничного переноса аэрозолей.

Разработанные подходы к типизации урбанизированных территорий юга Сибири с разными условиями техногенеза по атмотехногенному воздействию на среду обитания для оценки экологического состояния представляют собой самостоятельное научное достижение.

Практическая значимость работы заключается в определении уровня аэрозольного загрязнения на урбанизированных территориях юга Сибири в зависимости от промышленной специфики функционирующих производств на основе исследования пылевой нагрузки, химического и минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снегового покрова.

Полученные результаты исследований позволяют совершенствовать методы мониторинга окружающей среды, составлять прогнозы изменения экологического состояния в регионе, выполнять оценку риска здоровью людей, разрабатывать природоохранные рекомендации и стратегии экологической безопасности городов для минимизации техногенного воздействия на атмосферный воздух и здоровье населения.

Впервые предложены и запатентованы способы определения участков загрязнения снегового покрова техногенными компонентами (патент № 2229737, 2004 г.) и радиоактивными элементами (патент № 2453869, 2012 г.). Создана база данных (свид. гос. регистр. № 2016620754, 2016 г.) для определения уровней пылевой нагрузки и накопления химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова, а также проведено эколого-геохимическое районирование на территории Томской области и г. Томска.

Материалы исследований использованы в экологической деятельности ОГБУ «Облкомприрода» Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОАО «Томскгеомониторинг», ООО «Хакасразрезуголь», ООО «Сорский ГОК»

и АО «Ачинский НПЗ ВНК», а также в отчетах по грантам Президента РФ для молодых ученых, РФФИ, РГО и компании British Petroleum.

Материалы работы внедрены в образовательный процесс для подготовки бакалавров и магистров, иностранных студентов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование» в Томском политехническом университете.

**Достоверность защищаемых положений** обеспечена использованием современных концептуальных, теоретических, методических подходов и принципов геохимии окружающей среды, экологической минералогии и геоэкологии; большим массивом фактического материала, включающего статистически значимое количество проб, отобранных и подготовленных по единой методике в соответствии с нормативно-методическими документами; анализом состава проб с помощью современных высокочувствительных аналитических методов в аккредитованных лабораториях ведущих центров страны и зарубежья; статистической обработкой лабораторно-аналитических данных и глубиной проработки материала.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований по теме диссертации докладывались и представлялись на 67 Международных, 35 Всероссийских и 5-ти Региональных научных конференциях, симпозиумах, форумах и совещаниях, в том числе Международный научный симпозиум студентов, аспирантов и молодых ученых им. акад. М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2001–2008, 2014, 2016–2017 гг.); Международная конференция «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (г. Томск, 2004, 2009, 2013, 2016, 2021 гг.); Международная научно-практическая конференция «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде», (г. Семипалатинск, 2006, 2008, 2012 гг.); 11th Urban Environment Symposium (г. Карлсруэ, Германия, 2012 г.); «Всемирный Форум Снега – 2013» (г. Новосибирск, 2013 г.); The First Russian-Nordic Symposium on Radiochemistry (г. Москва, 2013 г.); Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (г. Москва, 2014 г.); Международная научно-практическая конференция «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли» (г. Иркутск, 2017, 2018, 2020 гг.); Международная конференция «Медицинская геология: MedGeo'17» (г. Москва, 2017 г.); Всероссийская конференция «Современные проблемы геохимии» (г. Иркутск, 2013, 2018 гг.); Всероссийская научная конференция «Геохимия ландшафтов» (г. Москва, 2016 г.); Сергеевские чтения: задачи геоэкологии (г. Москва, 2013 г.); Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу (г. Томск, 2005, 2011, 2013, 2017, 2019 гг.); конференция «Аэрозоли Сибири» (г. Томск, 2006–2021 гг.) и другие.

**Публикации.** Основные научные результаты и положения диссертации опубликованы в 255 работах, в т.ч. 59 публикаций в российских и зарубежных рецензируемых изданиях, включая 15 публикаций в журналах, индексируемых в базах Scopus и (или) WoS; два патента РФ на изобретение и патент на полезную модель; 36 статей в журналах из перечня ВАК Минобрнауки

России. Изданы в соавторстве монография, 4-е учебных пособия, включая с грифом СибРУМЦ (2011 г., переиздано в 2016–2020 гг.) и два на английском языке, получено свидетельство на базу данных.

**Личный вклад автора.** В период с 2001 г. по 2019 г. автор лично принимала участие в планировании, организации и выполнении всех полевых, камеральных и лабораторно-аналитических работ для исследования состава атмосферных аэрозолей с использованием снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири, а также в подготовке всех научных публикаций. Отбор, подготовка и изучение проб снегового покрова осуществлялись лично автором или под ее руководством. Автором лично выполнено обобщение и систематизация массива полученных данных, сформулированы цель, задачи, выводы и защищаемые положения. В соавторстве запатентованы способы определения участков загрязнения снегового покрова, создана база эколого-геохимических данных. Автором лично получены новые научные результаты по экогеохимии атмосферных аэрозолей по данным изучения нерастворимого осадка снегового покрова, разработана и выполнена типизация урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 7-ми глав, заключения и списка литературы. Рукопись изложена на 373 страницах машинописного текста, включающего 113 рисунков и 109 таблиц. Список литературы состоит из 643 источников, в т.ч. 136 на иностранном языке.

**В главе 1** рассматриваются современные представления об аэрозолях и снеговом покрове как депонирующей среды на основе литературного обзора.

**Глава 2** характеризует природно-климатические и геоэкологические условия на изучаемых урбанизированных территориях юга Сибири.

**Глава 3** содержит информацию о методике отбора и подготовке проб снегового покрова, аналитических методах исследования состава нерастворимого осадка снегового покрова и снеговой воды, а также о методике обработки полученных данных (эколого-геохимический, статистический, картографический анализ).

**Глава 4** посвящена результатам изучения уровней пылевой нагрузки, широкого геохимического спектра элементов (от Li до U), природных и техногенных образований в нерастворимом осадке снегового покрова на 21 урбанизированной территории с разнопрофильными промышленными предприятиями. Приводятся также результаты изучения многолетней динамики (2007–2015 гг.) аэрозольного загрязнения на территории многопрофильного промышленного города (Томск) по данным изучения нерастворимого осадка снегового покрова.

**В главе 5** представлены результаты исследований пылевой нагрузки, уровней накопления химических элементов (ртуть, уран, торий, редкоземельные и др.), минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики (ТЭС). Приводятся также результаты многолетнего эколого-геохимического мониторинга (2009–2018 гг.) загрязнения снегового покрова в зоне переноса выбросов ТЭС (ГРЭС-2 г. Томска).

**В главе 6** приведен анализ пространственного распределения уровней накопления макро- и микроэлементов в нерастворимом осадке снегового покрова по результатам эколого-геохимического районирования на территории Томской области с учетом расположения промышленных предприятий и объектов теплоэнергетики.

**Глава 7** посвящена обоснованию подходов к типизации урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания на основе анализа промышленного освоения городов с применением методов геоурбанистики, а также результатов исследования состава нерастворимого осадка снегового покрова с использованием методов геохимии окружающей среды и экологической минералогии. Представлены результаты выполненной типизации 34 промышленно-урбанизированных территорий в регионе.

**В заключении** изложены основные выводы и рекомендации по диссертационной работе.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность и искреннюю благодарность учителю и научному консультанту д.г.-м.н., профессору Язикову Егору Григорьевичу за многолетнее научное руководство и формирование научного мировоззрения, а также за ценные советы при выполнении диссертационной работы. Автор приносит сердечную благодарность своей семье за постоянную поддержку.

За проведение совместных полевых, камеральных и лабораторно-аналитических работ, а также за разностороннее обсуждение результатов автор выражает большую благодарность всем студентам, бакалаврам и магистрантам, аспирантам и соискателям, которые занимались в разные годы научной работой под руководством диссертанта – к.г.-м.н. Е.А. Филимоненко, к.г.-м.н. Т.С. Шаховой, В.В. Литау, А.В. Белошейкиной (Бутенко), Е.С. Торосян, Т.Е. Адильбаевой, В.С. Бучельникову, Н.П. Самохиной, С.А. Поликановой, А.Д. Пономаревой (Лончакова), Д.А. Володиной, В.Д. Кириной, Е.А. Самойловой (Мельникович), К.С. Михайловой, Д.А. Винюкову, Е.А. Никулиной, Ю.С. Будаевой, А.И. Беспаловой, С.П. Петунькину, А.А. Востриковой, Т.Т. Гасановой, А.А. Николаенко, Ю.В. Чумак, Д.А. Терской, М.Ю. Гавриловой, Н.О. Мельчуковой, А.Р. Ялалтдиновой, А.С. Чичиндаевой и другим.

Автор выражает признательность коллегам по кафедре геоэкологии и геохимии ТПУ (в н.в. отделение геологии) за ценные советы во время выполнения научных исследований:

д.г.-м.н., профессору Рихванову Л.П., д.г.-м.н., профессору С.И. Арбузову, к.х.н., доценту Н.А. Осиповой, д.б.н., профессору Н.В. Барановской и остальным.

Автор благодарит за помощь в изучение проб на сканирующем электронном микроскопе и рентгеновском дифрактометре к.г.-м.н., ассистента отделения геологии (ОГ) ТПУ С.С. Ильенка, аспирантов ОГ Д.Г. Усольцева, Е.С. Усольцеву, А.П. Зайченко, Л.А. Дорохову, к.г.-м.н., доцента ОГ Б.Р. Соктоева, за измерение концентрации ртути в пробах к.х.н., доцента ОГ Н.А. Осипову, к.г.-м.н. Е.Е. Ляпину, а также за определение химического состава проб руководителей лабораторий А.Ф. Судыко, Н.В. Федюнину, к.г.-м.н. Ю.Г. Копылову, к.г.-м.н. А.А. Хвощевскую, и аналитиков Л.В. Богутскую, Т.А. Филипас, А.Н. Маковенко, В.А. Шушарину, Н.И. Шердакову, М.Г. Камбалину.

Диссертант искренне благодарит за участие в совместных исследованиях Е.Е. Ляпину, к.г.-м.н., с.н.с. Института мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН; Рапугу В.Ф., д.ф.-м.н., в.н.с. Института вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН; сотрудников Института оптики атмосферы (ИОА) СО РАН – к.ф.-м.н., с.н.с. Д.В. Симоненкова, к.ф.-м.н. В.С. Козлова, д.ф.-м.н. М.В. Панченко, д.ф.-м.н. Б.Д. Белана; Института нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) СО РАН – к.г.-м.н., с.н.с. А.Ю. Девятову, к.г.-м.н., с.н.с. А.В. Еделева; Сыктывкарского государственного университета – д.г.-м.н., профессора М.П. Тентюкова; Сибирского государственного медицинского университета – д.б.н. Н.Н. Ильинских, ассистента Н.А. Новикову; начальника отдела охраны окружающей среды ООО «Сорский ГОК» А.В. Бутенко и АО «Ачинский НПЗ ВНК» Е.М. Лопух; сотрудников Университета Карлсруэ (Германия) – профессора D. Stüben, PhD St. Norra, Dr. Z. Berner, G.Ott, Th. Neumann, N. Schleicher, Норвежского университета наук о жизни (Норвегия) – профессора V. Salbu и PhD O.C. Lind.



# 1. КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНЕГОВОГО ПОКРОВА

## 1.1. Основные представления об аэрозолях и их влиянии на здоровье человека

Урбанизированные территории, где функционируют предприятия различной промышленной специализацией, являются мощными источниками загрязняющих веществ, оказывающие воздействие на качество окружающей среды (Виноградов, 1972; Израэль, 1984; Касимов и др., 2014). Одной из актуальных проблем на урбанизированных территориях является аэрозольное загрязнение атмосферного воздуха (Ивлев, 1982; Seinfeld и Pandis, 1998; 2006; Янин, 2003; Касимов и др., 2014; Jyethi, 2016; Ежегодник..., 2019).

Аэрозоли представляют собой совокупность твердых или жидких частиц, взвешенных в газообразной среде, в частности в атмосферном воздухе, с размерами от тысячных долей микрометра до долей сантиметра (Ивлев, 1982; Бримблкумб, 1988; Aerosol..., 2000). Твердые частицы являются аэрозолями твердых частиц, а жидкие частицы – аэрозолями жидких частиц (Янин, 2003). Из группы факторов, воздействующих на окружающую среду, наиболее значимыми являются твердые частицы.

Первый интерес к аэрозолям возник в конце XIX – начале XX века (Ивлев, 1982). Термин «аэрозоль» в литературе начали использовать Ф.Д. Доннан (Англия) и А. Шмаусс (Германия) (Aerosol..., 2000). Исследования аэрозолей с точки зрения химии получило свое интенсивное развитие с середины XX века из-за образования фотохимического смога в городах под влиянием техногенных источников, включая автотранспорт (Aerosol..., 2000). В нашей стране Н.А. Фукс был основоположником фундаментальных исследований аэрозолей, результаты которых изложены в его монографии «Механика аэрозолей» (в 1955 г.).

Атмосферные аэрозоли оказывают влияние на многие атмосферные, метеорологические и климатические процессы, а также на качество окружающей среды и здоровье человека согласно фундаментальным представлениям (Фукс, 1955; Фетт, 1961; Юнге, 1965; Спурный и др., 1964; Селезнева, 1966; Грин и Лейн, 1972; Ивлев, 1982; 2011; Кабанов и Панченко, 1984; Пришивалко и Астафьева, 1989; Кондратьев, 1991; Kiehl и Rodhe, 1995; Seinfeld и Pandis, 1998; 2006; Aerosol..., 2000; Величковский, 2002; Аэрозоли..., 2006; Pore и Dockery, 2006; Гинзбург и др., 2008; Лисицын, 2011; Csavina et al., 2012; Calvo et al., 2013; Jyethi, 2016; McNeill, 2017).

Существуют разные классификации аэрозолей с учетом их различных свойств, например, по агрегатному состоянию, по происхождению (по способу образования), по морфологии, по составу, по дисперсности и другие.

Существуют несколько классификаций аэрозолей по дисперсности. В соответствии с работой Х. Юнге (1965 г.) выделяются три группы частиц: 1) частицы «Айткена», которые имеют

радиус  $< 0,1$  мкм, 2) большие частицы –  $0,1–10$  мкм, 3) гигантские частицы –  $> 10$  мкм. Согласно другим работами (Фукс, 1955; Кабанов и Панченко, 1984; Baron и Willeke, 2001) различают ультрадисперсные частицы (фракции) (нуклеационные или частицы конденсации) с диаметром  $< 0,01$  мкм, микродисперсные –  $< 0,2$  мкм, субмикронные (большие, среднедисперсные или аккумуляционные) –  $0,2–2,0$  мкм, грубодисперсные (гигантские, крупные) –  $> 2,0$  мкм, а ядра Айткена – с размерами от  $0,01$  до  $0,1$  мкм. С учетом экологической опасности выделяют твердые частицы (particulate matter – PM) крупные с диаметром более  $2,5$  мкм (PM<sub>10-2,5</sub>), мелкие –  $< 2,5$  мкм (PM<sub>2,5</sub>) и  $< 1$  мкм (PM<sub>1</sub>), очень мелкие –  $< 0,1$  мкм (PM<sub>0,1</sub>) (Aerosol..., 2000; Pore и Dockery, 2006; Касимов и др., 2014).

По источнику образования аэрозоли разделены на две большие группы: естественные или природные (терригенные, морские, вулканические, биологические, космическая пыль) и антропогенные аэрозоли. Основными природными источниками первичных аэрозолей являются поверхность суши, в основном почвенная пыль (около 45%), поверхность морей и океанов (20–30%), вулканическая пыль (около 1,5%), космическая пыль (около 10%), лесные пожары (около 7%) и растительность (рисунок 1.1.1). Главными антропогенными источниками первичных аэрозолей являются энергетика (сжигание топлива), промышленность разных отраслей производства и автотранспорт. По разным оценкам на антропогенные аэрозоли приходится от 5–10 до 45% (45% в основном в промышленных центрах) по массе от всех аэрозолей, либо около

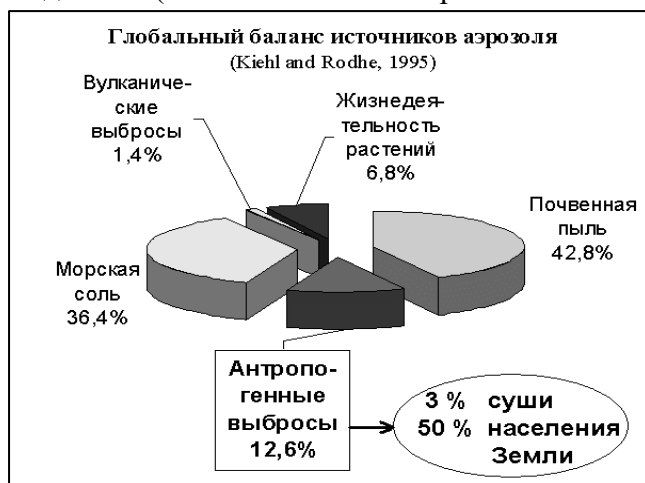


Рисунок 1.1.1 – Глобальная оценка вклада природных и антропогенных источников в поступление аэрозолей (Kiehl и Rodhe, 1995)

500–1000 млн. тонн в год (Довгалюк и Ивлев, 1977; Ивлев, 1982; Остромогильский, 1984; Пришивалко и Астафьева, 1989; Кондратьев, 1991; Kiehl и Rodhe, 1995; Jyethi, 2016). За счет химических и фотохимических реакций в атмосфере образуются вторичные аэрозоли, например, сульфатные, нитратные, органические аэрозоли.

Процессы удаления аэрозолей из атмосферы представляют собой сухое и влажное осаждение. Сухое осаждение происходит под действием сил тяжести или в результате диффузии. Влажное удаление включает процессы облачного и подоблачного вымывания. Крупные аэрозольные частицы при этом оседают обычно в течение часов или суток, но они могут переноситься на сотни километров, если вначале оказались на достаточной высоте. Мелкодисперсные аэрозоли могут находиться в нижней тропосфере несколько суток, в верхней тропосфере – несколько дней, обычно 10–20 суток. Этого времени бывает достаточно для

распространения частиц по всему полушарию. Аэрозольные частицы могут проникать в стратосферу, где продолжительность их существования составляет 1–3 года (Ивлев, 1982; Пришивалко и Астафьева, 1989; Kiehl и Rodhe, 1995; Jyethi, 2016). Локальный перенос микро- и наночастиц наблюдается на расстоянии до 10 км от источника, региональный – 100–1000 км, а глобальный – более 1000 км (Лисицын, 2011).

Внимание к изучению атмосферных аэрозолей постоянно возрастает для получения новых знаний с использованием современных методов и средств исследования. Существуют различные международные и российские проекты по изучению пространственно-временной изменчивости различных характеристик атмосферных аэрозолей на локальном, региональном и глобальном масштабах. В этих проектах объединены усилия исследователей различных стран, используется современный арсенал средств для наземных, надводных, воздушных и космических наблюдений. Примерами крупных комплексных исследований являются проекты, направленные на изучение атмосферных аэрозолей в Атлантике (Лукашин и др., 1996; 2018; Weber et al., 1998; Raes et al., 1998; Kawamura et al., 2017; Sakerin и др., 2020); в азиатских странах Тихоокеанского региона (ACE-Asia) (Arimoto et al., 2006; Mhawish et al., 2021), в Арктическом регионе (Rahn, 1981; Виноградова и др., 1993; 2003; 2004; 2020; Шевченко и др., 2000; 2003; 2015; Шевченко, 2006; Аэрозоли..., 2006; Система ..., 2012; Salvadó et al., 2017; Marsaya et al., 2018; Стародымова, 2018; Голобокова и др., 2020). В процессе изучения аэрозолей Арктики важное значение имеет исследование дальнего переноса атмосферных аэрозолей из промышленно-урбанизированных центров и оценка их вклада в техногенное загрязнение Арктического бассейна. По результатам проекта «Arctic haze», загрязнение этого бассейна за счет переноса выбросов с Урала, Сибири и европейской части бывшего СССР оценивалось на уровне 20–50% (Аэрозоли..., 2006).

Одними из крупных российских проектов по изучению аэрозольных и газовых примесей в атмосфере являются «TROICA» и «Аэрозоли Сибири». Целью проекта «TROICA» (Transsiberian Observations in the Chemistry of the Atmosphere) являлись крупномасштабные (500–1000 км) исследования изменчивости состава атмосферного воздуха над Россией с помощью передвижной лаборатории (оснащенный аппаратурой пассажирский поезд) вдоль транссибирской магистрали (Еланский, 2002; Копейкин, 2008).

В Сибири образуются значительные массы аэрозолей, имеющие не только природное, но и антропогенное происхождение, поскольку Сибирь обладает уникальным природным потенциалом и является также индустриально развитым регионом. Учитывая важность Сибири как мощного источника аэрозолей и имеющую обширную границу с Арктическим регионом, с начала 1990-х годов стартовал проект «Аэрозоли Сибири», который направлен на фундаментальные исследования закономерностей образования, состава и структуры, трансформации и переноса аэрозолей, выявления их основных источников и стоков, оценки их

влияния на качество атмосферного воздуха и здоровье людей (Куценогий, 1997; Аэрозоли..., 2006). Существенный вклад в получении и развитие научных знаний о микрофизических, химических и биологических свойствах атмосферных аэрозолей Сибири, о процессах их образования и переноса, включая Арктику, внесли ученые институтов РАН и других научно-исследовательских организаций, что отражено в коллективной монографии (Аэрозоли Сибири, 2006 г., под ред. К.П. Куценого) и многочисленных публикациях авторских коллективов (Б.Д. Белан, М.В. Панченко, М.В. Кабанов, Д.В. Симоненков, В.С. Козлов, Е.П. Яушева, С.А. Терпугова, М.Ю. Аршинов, Г.Н. Толмачев, В.В. Польшкин, С.М. Сакерин, К.П. Куценогий, П.К. Куценогий, В.Ф. Рапута, В.В. Коковкин, В.В. Пененко, А.С. Козлов, А.А. Виноградова, В.П. Шевченко, Т.В. Ходжер, Л.П. Голобокова, Г.С. Жамсуева, А.С. Сафатов и многие другие). Кроме того, ежегодно на протяжении многих лет на базе Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) проводится конференция «Рабочая группа “Аэрозоли Сибири”», которая имеет Всероссийский уровень с международным участием.

В настоящее время повышен интерес к изучению аэрозолей как важного экологического фактора на урбанизированных территориях. Современные города, на территории которых расположены жилые здания и промышленные объекты, представляют собой «острова тепла» из-за сжигания топлива в зимний период, а также радиационных факторов, изменения альбедо и теплового баланса в летний период (Касимов и др., 2014).

Для атмосферного воздуха городов характерны высокие концентрации (около  $10^6$  см<sup>-3</sup>) первичных и вторичных аэрозолей, имеющие природное и антропогенное происхождение. Размеры аэрозолей изменяются от 0,1 до 5 мкм. Соотношение мелких (0,1–1 мкм) и крупных (более 2,5 мкм) частиц зависит от метеорологических факторов в разные сезоны года (Warneck, 1998; Seinfeld и Pandis, 1998; Kadowaki, 2000).

Аэрозольные частицы накапливаются над промышленными городами и зонами, образуя над ними шапку загрязнений в виде «аэрозольной шапки» за счет совокупного воздействия природных (геоморфологические, метеорологические и др.) и техногенных факторов (Пененко и Алоян, 1985; Белан и др., 1996; Симоненков, 2015; Самуленков и др., 2020). В некоторых городах Сибири, Дальнего Востока и Республики Казахстан «аэрозольная шапка» характеризуется размерами в несколько сотен метров по вертикали (400–600 м) и несколько десятков километров по горизонтали (рисунок 1.1.2) (Белан и др., 1996; Симоненков, 2015). Химический состав «аэрозольной шапки» разнообразен и преимущественно формируется за счет интенсивного промышленного производства в конкретном городе. При этом в сердцевине «аэрозольной шапки» обогащение химическими элементами в несколько десятков и сотен раз выше, чем с наветренной стороны города.

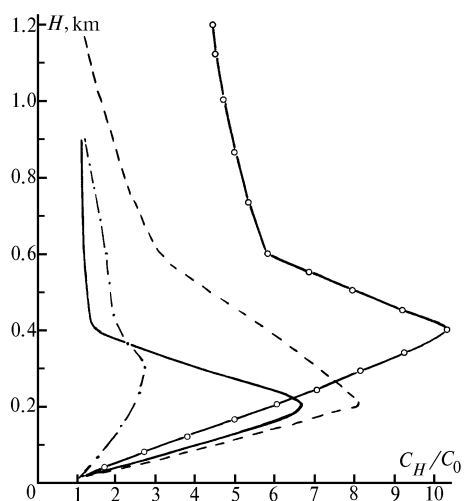


Рисунок 1.1.2 – «Аэрозольная шапка» над городами Сибири, Дальнего Востока и Казахстана по нормированному вертикальному распределению аэрозоля (— Хабаровск (зима); - - - Павлодар (весна); - · - Усть-Каменогорск (весна); —○— Комсомольск-на-Амуре (зима); Симоненков, 2015)

атмосферных потоках природных и техногенных веществ (Глазовский, 2006).

В городах важную роль в формировании экологического состояния играют твердые аэрозольные частицы, поскольку они являются основными загрязнителями атмосферного воздуха, негативно оказывающие влияние на здоровье населения.

Число твердых частиц размером более 0,5 мкм высокое в атмосфере больших городов ( $15-60 \cdot 10^6$  ед. на  $1 \text{ м}^3$ ) и промышленных районов ( $30-60 \cdot 10^6$  ед. на  $1 \text{ м}^3$ ) в основном из-за воздействия процессов сжигания угля, промышленных предприятий и автотранспорта (Янин, 2003; Ревич, 2010). Изучение твердых частиц как воздушных загрязнителей имеет важное значение (Jyethi, 2016) также, как и определение их источников для разработки стратегии управления качеством атмосферного воздуха в городах (Норке et al., 2020). Определение состава твердых частиц также может быть использовано для выделения тех источников, с которыми связаны негативные последствия для здоровья людей (Норке et al., 2020).

За рубежом много внимания уделяется изучению PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> и PM<sub>1</sub> (рисунок 1.1.4–1.1.5). Есть международная база данных о концентрации этих частиц в различных странах (WHO, 2015). В нашей стране главным образом проводят измерения концентрации взвешенных веществ в сравнении с ПДС<sub>с.с.</sub> ( $0,15 \text{ мг/м}^3$ ) и содержание в них очень небольшого спектра наиболее значимых тяжёлых металлов в городах на сети экологического мониторинга Росгидромета. Изучение взвешенных частиц в городах России также выполняют различные исследователи. В 2015 г. утверждено Постановление РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р, в котором в перечень загрязняющих веществ включены твердые частицы, т.е. PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>, для обязательных

Данные о химическом составе аэрозолей является важной характеристикой города, которая необходима при исследованиях трансграничного переноса загрязнителей (Симоненков, 2015), учитывая, что около 50% массы мелкодисперсных аэрозольных частиц (менее 1 мкм) оседает от источника дальше, чем на 1000 км (Megacities..., 2011). Изучение химического состава аэрозолей позволяет установить закономерности миграции химических элементов в атмосферном воздухе, а также изучить их роль в вещественном балансе биосферы (Ковальский, 1971), в

наблюдений в атмосферном воздухе городов и в составе промышленных выбросов. Поэтому для нашей страны исследования  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  и оценка их риска здоровью человека являются актуальными задачами (Голохваст, 2014; Загороднов и др., 2019).

В городах разных стран мира, по современным оценкам, 5–45% твердых частиц, в частности  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ , от их общего выброса поступает за счет сжигания топлива, 10–35% – от промышленных эмиссий, 10–40% – от автотранспорта, 10–44% – от природных источников (рисунок 1.1.3) (Янин, 2003; Karagulian et al., 2015; Hopke et al., 2020).

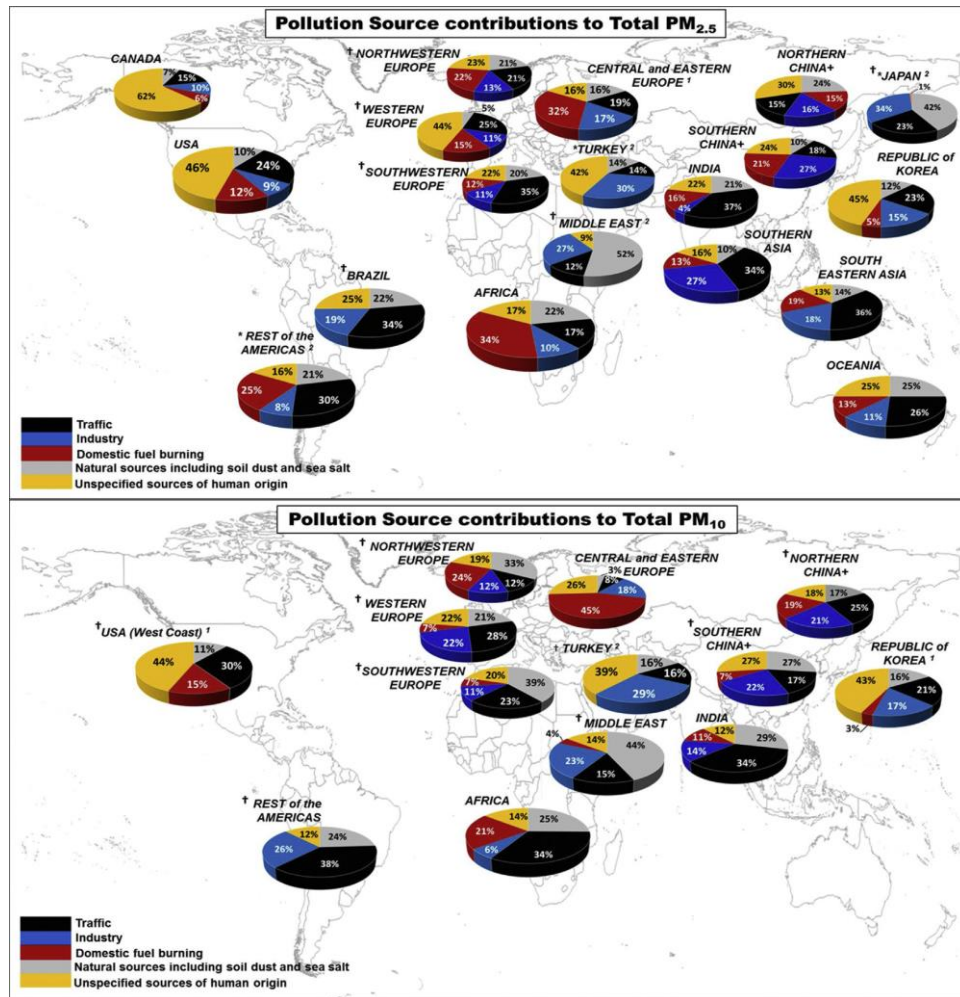


Рисунок 1.1.3. – Процентный вклад различных источников в поступление твердых частиц размером 2,5-10 ( $PM_{2,5}$ ) и более 10 мкм ( $PM_{10}$ ) в атмосферный воздух городов в различных странах мира с 1990 г. по 2014 г. (Karagulian et al., 2015) (traffic – автотранспорт, industry – промышленность; domestic fuel burning – местное сжигание топлива; natural sources including dust and sea salt – природные источники, включая пыль и морскую соль; unspecified sources of human origin – неспецифичные источники антропогенного происхождения (вторичные антропогенные аэрозоли))

Основу выбросов промышленных предприятий и теплоэнергетики составляет твердое вещество, включая сажу и твердые частицы, в последних концентрируются различные химические элементы, включая и опасные для здоровья человека тяжелые металлы (Геохимия..., 1990; Янин, 2003; Касимов и др., 2014). В то же время, уставлено присутствие химических элементов в выбросах предприятий в металлической форме (Янин, 2003).

Твердые частицы (взвешенные частицы) в воздухе участвуют в атмогеохимической миграции химических элементов на глобальном, региональном и локальном масштабах. Химический состав твердых аэрозольных частиц при этом существенно различается по фракционным размерам. В многочисленных работах (например, Ровинский, Петрухин, 1985; Геохимия..., 1990; Aerosol ..., 2000; Salma et al., 2002; Касимов и др., 2014) показано, что многие тяжелые металлы, например, Hg, Cu, Zn, Se, Sb, As, Cd, Pb, концентрируются преимущественно в мелких частицах, а макроэлементы или литофильные, например, Al, Fe, Ca, Ti, Mn, Na, Cl, – в основном в крупных частицах. Химические элементы, например, тяжелые металлы в составе антропогенных твердых частиц вовлекаются в трансграничный перенос и могут переноситься на сотни и тысячи километров от источника и даже достигать других стран, Атлантики и Арктики (Marx и McGowan, 2011). Дальность переноса первичных и вторичных аэрозолей от крупных городов при этом составляет от 100 до 400 км. (Megacities..., 2011; Касимов и др., 2014). Кроме того, твердые частицы включаются в другие геохимические миграционные потоки в окружающей среде, в частности в почвенно-геохимические, гидрогенные и биогенные за счет оседания на поверхность почв, водоемов и растительности (Касимов и др., 2014).

Твердые частицы в воздухе являются фактором риска для здоровья населения, что подтверждено данными Всемирной организации здравоохранения (WHO, 2004; 2014; 2015) и международными стандартами качества атмосферного воздуха (EPA, 2009), а также показано в многочисленной зарубежной и российской литературе (например, Спурный и др., 1964; Грин и Лейн, 1972; Воробьева и др., 1982; Dockery и Pope, 1994; 2006; Pagano et al., 1996; Newman, 2001; Величковский, 2002; Онищенко и др., 2002; Гичев, 2002; Mugica et al., 2002; Ревич и др., 2004; Tager, 2005; Plumlee и Ziegler, 2007; Csavina et al., 2012; Касимов и др., 2014; Айдинов и др., 2017; Burnett et al., 2018; Veremchuk et al., 2018; Lee et al., 2020; Jaafari et al., 2021). Распределение твердых частиц в дыхательной системе человека в зависимости от их размеров представлено на рисунке 1.1.4. В вышеперечисленных работах показано, что 60% крупных частиц (более 10 мкм) задерживаются и оседают в верхних дыхательных путях (носоглоточном тракте), поэтому легко выводятся и не представляют существенной опасности, т.к. не обладают мутагенностью. А 50% мелкодисперсных частиц (менее 2,5 мкм) способны проникать глубоко в нижние дыхательные пути. В бронхах и легких в основном оседают частицы с размерами от 1 до 2,5 мкм. Ультра мелкие твердые частицы (менее 1 мкм) достигают альвеол и бронхиол.

Химический состав частиц это основной фактор их воздействия на здоровье человека. Учитывая факты обогащения маленьких частиц различными химическими элементами, эти частицы представляют собой идеальный транспорт токсических (металлы, органика, радионуклиды) веществ в дыхательные пути. Попадая в дыхательную систему частицы могут

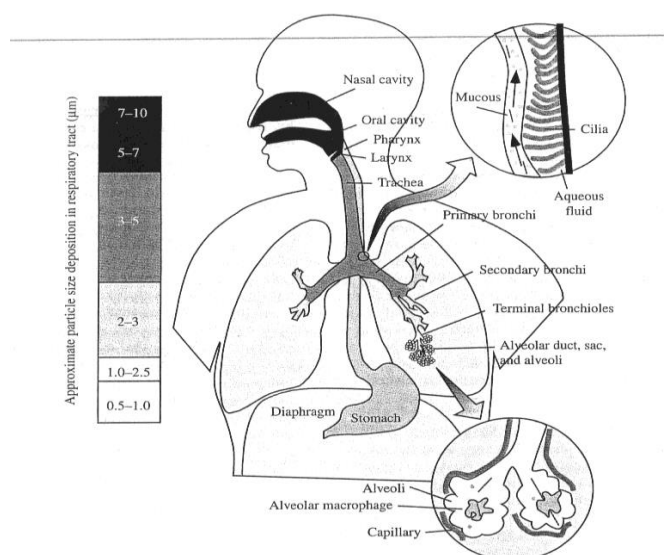


Рисунок 1.1.4. – Схема распределения твердых частиц по размерам (мкм) в дыхательной системе человека (Newman, 2001)

негативное воздействие на респираторные и сердечно-сосудистые заболевания, а также могут вызывать смертность. Твердые частицы могут также вызывать раздражения и дерматиты кожи, конъюнктивиты. Отдельные компоненты частиц могут формировать ряд специфических (профессиональных) заболеваний (например, силикоз, асбестоз и др.).

## 1.2. Использование снегового покрова как планшета-накопителя атмосферных аэрозолей для эколого-геохимической оценки территорий

На урбанизированных территориях промышленные предприятия и теплоэнергетика являются главными антропогенными источниками загрязнения аэрозольными частицами, содержащие огромный спектр химических элементов и соединений. Характер и интенсивность распространения загрязняющих веществ, включая и твердые частицы, в городах определяется показателями источников загрязнения (высота, мощность и др.), структурой застройки города, а также природными условиями (направление и скорость ветра, рельеф, тип ландшафта, циркуляция воздуха, инверсии и др.) (Касимов и др., 2014).

Выбросы промышленных объектов оказывают влияние на техногенную геохимическую трансформацию атмосферных аэрозолей, что негативным образом сказывается на функционировании живых организмов и экосистемы города в целом, снижается качество жизни и ухудшается здоровье населения. Во многих российских городах установлена положительная корреляционная связь между смертностью от болезней органов дыхания и выбросами твердых частиц, включая смертность от онкологических заболеваний (Касимов и др., 2014). Выбросы предприятий различных отраслей производства также влияют на возникновение различных заболеваний. Например, с выбросами теплоэнергетики связан рост заболеваний дыхательной системы, а химической и нефтехимической промышленности – аллергических реакций

приводить к обострению астмы и респираторных симптомов, а также вызывать онкологические заболевания легких.

Установлены также значимые корреляционные связи между смертью от хронической обструктивной болезни легких и воздействием твердых частиц. Ультрамелкие частицы могут перемещаться в сосудистую систему и в сердце, что может приводить к сердечной аритмии и сокращению коронарного кровотока. Мелкодисперсные твердые частицы за короткий период времени оказывают



(Онищенко, 2006). Поэтому важно осуществлять постоянные наблюдения за загрязнением окружающей среды, в частности за аэрозольными частицами, через систему экологического мониторинга (Израэль, 1984).

В промышленно-урбанизированных центрах есть транзитные среды, принимающие техногенные выбросы, например, атмосферный воздух, а также депонирующие среды, в которых накапливаются продукты техногенеза. В промышленных городах страны для мониторинга атмосферного воздуха существуют стационарные и передвижные посты наблюдений Росгидромета (руководящий документ 52.04.186-89). По данным измерений на этих постах определяется рейтинг самых загрязненных городов и вклад загрязняющих веществ в формирование уровня загрязнения воздуха. Одними из таких компонентов являются взвешенные вещества (твердые частицы), содержание которых в некоторых городах превышает предельно допустимые концентрации согласно ежегодным обзорам на сайте Росгидромета (Обзор..., 2018; 2020; Ежегодник..., 2020).

Из-за высокой динамичности атмосферного воздуха, получение представительной и достоверной оценки распределения загрязнения твердыми частицами на всей территории города за длительный период времени имеет технические и методологические трудности (Методические..., 1990). Во многих городах на постах Росгидромета не выполняются автоматизированные регулярные измерения концентрации взвешенных веществ (аэрозолей), проводится анализ их химического состава на небольшой спектр компонентов, а во многих городах страны слабо развита система таких наблюдений.

Следовательно, актуальными задачами являются количественная и качественная оценка пространственно-временного распределения твердых частиц с комплексом химических элементов и выявления закономерностей формирования очагов аэрозольного загрязнения на территории города. Также важные задачи включают оценку эколого-геохимической обстановки на урбанизированных территориях, установление специфики техногенного геохимического воздействия отдельно взятого промышленного источника среди множества.

Для решения задач экологического мониторинга актуальным является использование депонирующих природных сред, в частности, снегового покрова как индикатора техногенного загрязнения атмосферного воздуха на локальном, региональном и глобальном масштабах. Снеговая съёмка имеет большую экспрессность из-за простоты отбора и подготовки проб к анализу, не требует сложного оборудования для отбора проб.

В зимний период, витающие в атмосферном воздухе аэрозольные частицы имеют преимущественно техногенное происхождение, поскольку уменьшается естественное пылевыделение с территорий из-за перекрытия снежным покровом открытой поверхности почвы, а водоемы скованы льдом. В этом смысле, снеговой покров представляет собой

идеальную депонирующую среду для изучения состава, количества и пространственного распределения аэрозольных частиц, а также для выявления их источников и дальности переноса. Кроме того, снеговой покров является индикатором состояния атмосферного воздуха в холодный период, т.е. с момента начала снегостава до периода массового снеготаяния, на территориях с различной степенью урбанизации и промышленного освоения (Василенко и др., 1985; Геохимия..., 1990; Аэрозоли..., 2006; Янченко, 2020). Техногенные геохимические аномалии в снеговом покрове проявляются наиболее контрастно, чем в других депонирующих средах, поскольку изучение снегового покрова показывает современное техногенное воздействие источников загрязнения (Воробьева и др., 2009).

Накопление веществ в снеговом покрове происходит в результате процессов образования снежинок вокруг ядер конденсации (пылинки, капли и др.) в облаке; сорбции примесей при прохождении снежинок сквозь атмосферу; сухого и мокрого осаждения веществ из воздуха, в т.ч. атмосферных аэрозолей; газового обмена между снежным покровом и воздухом (Василенко и др., 1985; Davidson et al., 1996). Кроме того, известны работы по изучению перемещения веществ из недр, через горные породы, почвы, водоемы и льды в снеговой покров (Прокачева и др., 1989; Кренделев и Бордонский, 1990; Коломыц, 2013).

Использованием снегового покрова для изучения аэрозолей и эколого-геохимической оценки территорий началось только в XX веке. Так, в 1930-х гг. В.А. Углов оценил весовое выпадение пылевых частиц на единицу площади и их суммарный приток на территорию Харькова и Ленинграда по исследованию снегового покрова (Бояркина и др., 1993).

Большой вклад в развитие основ мониторинга снегового покрова на территории России внесли Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д., что стало основой системы мониторинга загрязнения снегового покрова на территории РСФСР с целью получения характеристик атмосферных выпадений загрязняющих веществ (Осокин, 1963; Назаров и др., 1976; 1978; Василенко и др., 1985). В настоящее время функционирует стационарная сеть Росгидромета по наблюдению за состоянием и загрязнением снегового покрова на территории нашей страны (руководящие документы 52.04.186-89; Р 52.18.851-2016; Ветров и др., 2017). Здесь проводят изучение снеготалой воды по узкому спектру компонентов – основные водорастворимые соединения (макрокомпоненты), взвешенные вещества, кислотность и электропроводность, в редких случаях изучают небольшой спектр из тяжелых металлов. Некоторые результаты представлены в ежегодных обзорах загрязнения окружающей среды в РФ на сайте Института глобального климата и экологии Росгидромета.

Впервые в нашей стране масштабные научно-методические и прикладные эколого-геохимические исследования в городах с использованием депонирующих сред, включая снеговой покров, начали выполняться в Москве с 1976 г. сотрудниками Института минералогии, геохимии

и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) под руководством Ю.Е. Саета (Григорян, Сает, 1980; Сает и др., 1981; Сает, 1982; Геохимия ..., 1990; Янин, 1998; 1999; 2009; 2019). Научно-концептуальные основы эколого-геохимической оценки городов базировались на применении теории и методов поисковой геохимии. В результате сформировалось новое научное направление – геохимия окружающей среды или экологическая геохимия (геохимия техногенеза). Научно-методические подходы в экогеохимии также были связаны с применением методов картографирования и математического аппарата (Линник, 1985; Линник и др., 1986).

Далее, экогеохимия получила развитие с применением ландшафтно-геохимических подходов, в т.ч. с использованием методов картографирования и моделирования, что сформировало научное направление – геохимия техногенных ландшафтов (Глазовский и др., 1981; 1983; Глазовская, 1988; 2007; Глазовская и др., 1989; Моисеенков, 1989; Касимов и Перельман, 1993; 1999; Алексеенко, 1994; 2000; 2013; Касимов и др., 1993; 1995; 2004; 2012; 2013; 2016; Кошелева, 1997; 2003; 2004; Власов, 2015; Власов и др., 2017; Пашкевич и др., 2020). Для эколого-геохимической оценки антропогенно-нагруженных территорий и риска заболеваний используются также теоретические положения биогеохимии (Ковальский, 1974; Коробова, 2017).

Сотрудниками ИМГРЭ были разработаны фундаментальные методические рекомендации для геохимической оценки загрязнения территории городов химическими элементами (1982 г.), оценки источников загрязнения окружающей среды (1982 г.), оценки степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почвах (1990 г.; 2006 г.), а также опубликована коллективная монография «Геохимия окружающей среды» (1990 г.). В методических рекомендациях ИМГРЭ заложены научно-методологические подходы эколого-геохимической оценки территории городов и предприятий с использованием депонирующих сред, включая снеговой покров. В геохимии снегового покрова основной акцент сделан на изучение пылевой нагрузки и содержания тяжелых металлов в твёрдой фракции (нерастворимый осадок снегового покрова) и снеготалой вода. Результаты таких исследований сравниваются с показателями здоровья населения.

Изучение химического состава снеготалой (снеговой) воды отражает степень загрязнения растворимыми (подвижными) формами химических элементов. При этом нерастворимый осадок снегового покрова, полученный в результате фильтрации снеговой воды, представляет собой атмосферные аэрозоли, осевшие в снеговом покрове. Поэтому большое индикационное значение для определения состава аэрозольных частиц, поступающих от техногенных и природных источников, имеет изучение нерастворимого осадка снегового покрова.

В многочисленных зарубежных и российских публикациях освещены результаты изучения в составе снегового покрова приоритетных загрязнителей – тяжелых металлов, полициклических

ароматических углеводородов, нефтяных соединений, ионных компонентов (макроэлементы, сульфаты, нитраты, гидрокарбонаты и др.) и физико-химических параметров.

Проводятся исследования загрязнения снегового покрова в разных странах мира, к примеру, в Канаде (Brzezinska-Paudyn et al. 1986; Telmer et al., 2014; Wang et al., 2021), Словении (Miler и Gosar, 2009; 2015; Gaberšek и Gosar, 2021), Литве (Krastinyte et al., 2013; Baltrėnaitė et al., 2014; Taraškevičius et al., 2018), Эстонии (Kaasik et al., 2000), США (Nelson et al. 2007; Lee et al., 2008; Reynolds et al., 2014), Турции (Elіkk, 2002); Польше (Vasic´c et al., 2012; Siudek et al. 2014; 2016; Kępski et al., 2016), Японии (Osada et al., 2010), Китае (Zhang et al. 2013; Li et al., 2015; Gao et al., 2018; Huang et., 2020), Швеции (Viklander et al., 1999; Reinosdotter et al., 2005), Финляндии (Ettala et al. 1986; Buckoo et al., 2011), Республике Казахстан (Панин, Ажаев, 2006; Ажаев, 2007; Адильбаева и др., 2014; 2017; Шахова, 2018; Темиржанова, 2020), Монголии (Сорокина и др., 2013; Кошелева и др., 2013). В зарубежных публикациях основное внимание уделяют изучению тяжелых металлов в жидкой фазе, иногда в твердой фазе снегового покрова.

Эколого-геохимическая оценка техногенно-нагруженных территорий с использованием снегового покрова выполняется многими отечественными исследователями, например, в Москве (Глазовский и др., 1981; 1983; Геохимия ..., 1990; Касимов и др., 1995, 2012; 2016; Маркова, 2003; Еремина и др., 2010; Galitskaya et al., 2012; Vinokurov et al., 2014; Власов, 2015; Vlasov et al., 2020; Mazur et al., 2021), Санкт-Петербурге (Яхнин и др., 2003; Нестеров и др., 2009; 2019; Зарина, 2009; Воронцова, 2013), Самаре (Ардаков, 2004), Перми (Копылов, 2013), Якутии (Макаров, 2014; 2016), Казани (Валетдинов, 2006), Норильске (Онучин и др., 2014), Новгородской области (Сидоренко и Юнина, 2010; Летенкова и др., 2014), Мурманской области (Gregurek et al., 1999; Ratkin et al., 2001; Раткин и Шаблова, 2008), Республике Коми (Vasilevich et al., 2011; Tentyukov, 2005; Тентюков, 2016), в промышленно-урбанизированных районах Урала (Грачева, 2011; Удачин, 2012; Баглаева и др., 2012; Мельчаков и др., 2013; Почечун, 2014; Таций и др., 2017), Республики Башкортостан (Белан, 2007), в городах Дальнего Востока (Новороцкая, 2002; Levshina 2012; Куимова и др., 2012; Голохваст, 2014; Юсупов и др., 2014; Kholodov et al., 2017; Холодов, 2019; Михалев, 2021).

Снеговой покров также является удобным инструментом для изучения закономерностей переноса и выпадений аэрозольных примесей с территории промышленных городов как в региональном (Рапута и др., 2008; 2011; Павлов и др., 2011; Шевченко и др., 2015; Захарченко и др., 2020; 2021; Евсева и др., 2020), так и в глобальном масштабе, например, в Арктическом регионе (Виленский и Миклишанский, 1976; Шевченко и др., 2000; 2010; Шевченко, 2006; Система ..., 2012; Котова, 2013; Стародымова, 2018; Shevchenko et al., 2020).

Сибирь, как крупный промышленно-сырьевой регион страны, представляет собой удобный регионом для изучения закономерностей образования и трансформации, переноса и

распространения аэрозолей, выявления их локальных и региональных техногенных источников в промышленно-урбанизированных и фоновых районах с использованием снегового покрова. Сибирь удалена на тысячи километров от крупных почвенно-эрозионных источников, что практически исключает поступление больших объемов литогенной составляющей в снеговой покров. Резко-континентальный климат Сибири способствует формированию продолжительного устойчивого снегового покрова (5–6 месяцев), что способствует долговременному накоплению в толще снега аэротехногенных выпадений.

В Сибири с 1970-х гг. впервые начали проводить изучение атмосферных аэрозолей на основании изучения снегового покрова. В этих масштабных исследованиях участвовал большой авторский коллектив (Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В., Глухов Г.Г., Резчиков В.И. и др.) из вузов и научных организаций Томска. По результатам многолетних исследований влияния техногенных факторов на окружающую среду и здоровье человека на основе изучения атмосферных аэрозолей с помощью снеговой и торфяной съемок была издана коллективная монография «Аэрозоли в природных планшетах Сибири» (1993 г.).

В Томском политехническом университете на кафедре геоэкологии и геохимии под руководством проф. Е.Г. Язикова и проф. Л.П. Рихванова проводились многолетние (1990-х–начало 2000-х гг.) эколого-геохимические исследования депонирующих сред, включая и снеговой покров, на урбанизированных территориях юга Западной Сибири. В итоге на основе результатов этих исследований были разработаны научно-методологические подходы региональной комплексной эколого-геохимической оценки урбанизированных территорий с разной техногенной нагрузкой, что нашло свое отражение во многих публикациях (например, Язиков, 2001; Эколого-геохимические..., 2006) и докторской диссертации (Язиков, 2006).

На протяжении последних десятков лет в Сибири развитие эколого-геохимических исследований на промышленно-урбанизированных территориях и в фоновых районах с использованием снегового покрова, проводятся разными научными группами. Например, из Новосибирска (В.Ф. Рапута, В.В. Коковкин, С.Б. Бортникова, А.Ю. Девятова, И.Н. Мягкая, С.Ю. Артамонова, Ю.В. Ермолов), Тюмени (Д.В. Московченко, Р.Ю. Пожитников, Н.С. Ларина, Т.В. Гарманова), Ханты-Мансийска (М.Н. Китайкина), Горно-Алтайска (Ю.В. Робертус, В.А. Ситникова), Барнаула (А.В. Пузанов, И.В. Хвостов, И.П. Чефранов, Т.В. Андрухова, В.И. Букатый, И.А. Суторихин, Т.С. Папина, Т.В. Носкова), Кемерово (Н.В. Журавлева, В.А. Некипелый, С.А. Некипелая), Москвы (В.П. Шевченко), Томска (Н.В. Ильченко, А.Ю. Иванов, А.И. Летувнинкас, А.Ю. Шатилов, Е.Г. Язиков, Л.П. Рихванов, А.В. Таловская (автор данной работы), Е.А. Филимоненко, Т.С. Шахова), Иркутска (Н.И. Янченко, А.Н. Баранов, В.И. Гребенщикова, Б.А. Бычинский, М.С. Холодова, Л.М. Филимонова, Н.А. Онищук, Н.Д. Давыдова, Т.И. Знаменская, Г.П. Королева, В.А. Скворцов, В.П. Рогова, И.А. Белозерцева, Н.В.

Федорова), Улан-Удэ (А.В. Украинцев, Д.И. Жамбалова), Кызыла (Л.Х. Тас-Оол, И.Д. Кара-Сал). Результаты исследований этих коллективов изложены в кандидатских и докторских диссертациях, а также в многочисленных публикациях в российских и зарубежных изданиях, некоторые из которых приведены в списке литературы данной работы.

Обзор многих научных зарубежных и отечественных публикаций, включая также по Сибири, показывает, что большинство научных исследований по геохимии снегового покрова сконцентрировано на изучении процессов накопления макрокомпонентов, ПАУ и тяжелых металлов как приоритетных поллютантов в разных фазах снега (жидкая, твердая, жидкая и твердая). Отдельные работы также посвящены изучению некоторых редких элементов в снеговом покрове (Шатилов, 2001; Девятова, 2006; Язиков, 2006; Голохваст, 2014; Бортникова и др., 2014; Vinokurov et al., 2014; Филимонова, 2017; Московченко и др., 2021). В ряде работ выполнялся анализ распределения гранулометрических фракций в снеговом покрове (Голохваст, 2014; Kholodov et al., 2017; Журавлева, 2017; Холодов, 2019).

Важной проблемой в области экологической минералогии является изучение твердофазных форм токсичных веществ в окружающей среде, включающее определение и систематику этих форм, закономерности их распространения в природных и техногенных объектах, геохимических аномалиях, особенностей возникновения и существования в различных условиях, механизмов и последствий их взаимодействия с живыми организмами (Прикладные..., 1991; Голева, 1994; 2001; 2007). Подготовлены в ВИМСЕ методические рекомендации для изучения форм нахождения токсичных элементов (1997 г.), являющиеся научно-методологической основой для минералогического исследования экологического состояния окружающей среды. Данное научное направление в настоящее время развивается и рассматривает различные вопросы для разнообразных объектов экологической минералогии (минералогии техногенеза). На протяжении последних лет, начиная с 2000-х гг., на базе Института минералогии УрО РАН (г. Миасс) проводится научная конференция «Минералогия техногенеза» на Всероссийском уровне.

Одним из объектов исследований в экологической минералогии являются твердые частицы снеговых выпадений, изучение которых возможно выполнять с применением научно-методических подходов, разработанных в ВИМСе (Минералого-геохимические..., 1997; Голева, 1997; 2007). Обзор публикаций показывает, что при проведении снегогеохимических исследований мало внимания уделяется изучению минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снегового покрова, исследование которого позволяет определять твердофазные формы нахождения токсикантов, опасных для здоровья человека, а также выявлять техногенные источники загрязнения. Остаются непроработанными в полной мере вопросы о качественных и количественных характеристиках минерально-фазового состава, микрофаз (микрочастиц)-носителей химических элементов, природных и техногенных образований в

нерастворимом осадке снегового покрова в городах и промышленных районах с разными условиями техногенеза, а также в районах, удаленных от техногенного воздействия. Количество работ, посвящённых данным вопросам, в настоящее время пока ограничено как в нашей стране, так и за рубежом (Gregurek et al., 1999; Шатилов, 2001; Белозерова и др., 2002; Язиков, 2003; 2006; Девятова, 2006; Miler and Gosar, 2009; 2015; Рогова и др., 2002; Федорова, 2008; Скворцов и др., 2011; Удачин, 2012; Королева и др., 2013; Воронцова, 2013; Голохваст, 2014, Golokhvast и Shvedova, 2014; Артамонова, 2014; Юсупов и др., 2014; Dong et al., 2014; Reynolds et al., 2014; Шевченко и др., 2000; 2015, Холодова и др., 2016; Филимонова, 2017; Shevchenko et al., 2020).

В итоге, исходя из вышеизложенного, несмотря на повышенный интерес к изучению аэрозолей с помощью снегового покрова, в т.ч. и в Сибири, все же существует недостаток научных знаний о экогеохимии широкого спектра химических элементов, включая слабоизученные в геохимическом плане редкоземельные элементы, а также о природных и техногенных образованиях в составе аэрозольных частиц, осевших в снеговом покрове на урбанизированных территориях.

*Таким образом, обзор научных публикаций убедительно показывает актуальность исследований атмосферных аэрозолей как мощного экологического фактора на урбанизированных территориях. Использование снегового покрова как планшета-накопителя аэрозольных выпадений из атмосферы является весьма актуальным для определения их состава, техногенных источников и дальности переноса, а также для эколого-геохимической оценки состояния территорий в региональном и локальном масштабах.*

## 2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИТОРИИ ЮГА СИБИРИ

### 2.1. Основные черты природно-климатических условий

Сибирь простирается от Уральского хребта (Урала) (западная граница) до берегов Тихого океана (восточная граница), от берегов морей Северного Ледовитого океана (северная граница) до степей и гор Казахстана и Монголии (южная граница). В итоге, территория Сибири составляет площадь около 13 млн. км<sup>2</sup> и включает такие физико-географические регионы, как Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток (рисунок 2.1.1).



Рисунок 2.1.1. – Карта природных ландшафтных зон России и сопредельных Республик (по А.Г. Исаченко, 1991; квадрат – районы расположения изучаемых городов и границы исследований: линия – при личном участии автора; пунктир – при участии автора и с использованием опубликованных данных)

По геоморфологическому строению на западе Сибири выделяется Западно-Сибирская равнина, в средней части – Среднесибирское плоскогорье, на юге и востоке – горные хребты Южной Сибири. Сибирь является важнейшей сырьевой базой страны. Геологические особенности строения определяют наличие разнообразных полезных ископаемых в ее недрах: топливно-энергетические ресурсы (нефть, газ, конденсат); ресурсы угля (крупнейший в стране Кузнецкий угольный бассейн; Канско-Ачинский бассейн бурых углей и др.), руды черных и цветных металлов (алюминий, цинк, железо, свинец, титан, никель и др.) и неметаллов (Давыдова, 1990).



В данной диссертационной работе при личном участии автора исследования выполнялись преимущественно на юге Западной Сибири, а также в некоторых областях юга Восточной Сибири. Кроме того, в работе использованы литературные опубликованные данные для других городов Западной и Восточной Сибири. В этой связи, основное внимание в работе уделено общей краткой характеристике этих регионов.

Западная Сибирь является отдельным физико-географическим регионом, с общей площадью более 4400 тыс. км<sup>2</sup>, ограниченным восточными склонами Уральских гор (на западе ); уступами Енисейского кряжа и Среднесибирского плоскогорья (на востоке ); горами Алтая , отрогами Кузнецкого Алатау и Салаирского кряжа, между которыми Кузнецкая котловина (на юго-востоке); склонами Казахского мелкосопочника (на юге ) и побережьем Карского моря (на севере). В геолого-тектоническом отношении Западная Сибирь разделена на Западно-Сибирскую плиту (равнина) с площадью более 3 млн. км<sup>2</sup> (северная часть) и Алтае-Саянскую складчатую область (южная часть), образованную горными сооружениями Кузнецкого Алатау, Алтая, Западного Саяна, Салаира и впадинами между ними.

Территория Западной Сибири характеризуется большим многообразием природных ландшафтов: тундровая (площадь 325,4 км<sup>2</sup>), лесотундровая (151,3 км<sup>2</sup>), лесная (182 км<sup>2</sup>), лесостепная (405,6 км<sup>2</sup>) и степная (309,8 км<sup>2</sup>) зоны (рисунок 2.1.1). В отдельных районах региона распространены межгорные котловины и зоны высоко-, средне-, низкогорья (Орлова, 1962; Почвенно-географическое..., 1977; Давыдова и Раковская, 1990; Западная..., 2000).

Западно-Сибирская равнина охватывает Томскую, Омскую, Новосибирскую, Тюменскую, Курганскую области, восточную часть Свердловской области, западную периферию Красноярского края и часть Северного Казахстана. Кемеровская область, Республика Алтай, Алтайский край, Красноярский край, Республика Хакасия, Республики Тыва расположены в пределах Алтае-Саянской складчатой области. Горные сооружения этой области переходят под чехол Западно-Сибирской плиты: горы Алтая круто обрываются к поверхности плиты, а горы Кузнецкого Алатау, Салаира, Горного Алтая и Колывань-Томская область плавно ныряют под ее чехол и формируют фундамент. Алтае-Саянская складчатая область сложена породами осадочного, метаморфического, интрузивного, эффузивного и эффузивно-метаморфического генезиса, сформированные в период от докембрия до эоцена и до четвертичных отложений. На территории Западной Сибири высотные отметки низменностей и возвышенностей достигают 50–150 м, а вблизи горных обрамлений возвышаются. Мощная толща мезозойских и кайнозойских терригенных отложений слагают чехол Западно-Сибирской плиты.

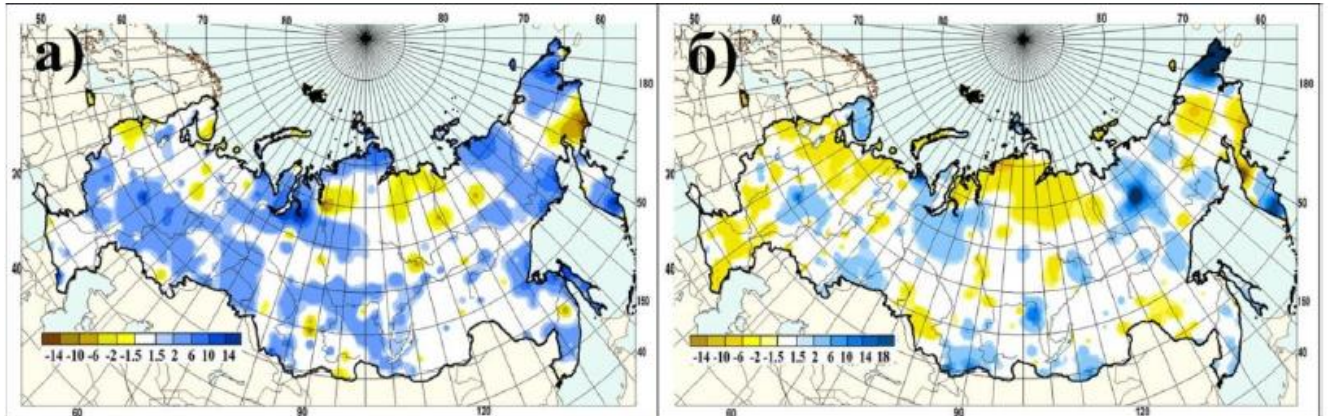
Западно-Сибирская равнина является бассейном главной ее водной артерии – р. Обь, которая впадает в Обскую губу (залив Карского моря). Крупными притоками р. Обь являются рр. Иртыш, Ишим и Тобол, а в лесной зоне, до устья р. Иртыша, притоки р. Обь – рр. Томь, Чулым, Кеть,

Тым, Вах, Парабель, Васюган и Большой Юган. В центральной и северных частях равнины развита густая речная сеть, а на юге – почти нет притоков у Оби, Иртыша и Тобола. В Западной Сибири расположено одно из крупнейших в мире Васюганское болото, площадью около 53 тыс. км<sup>2</sup>. Богата равнина и подземными водами, один из крупных Артезианских бассейнов распложен на территории Томской области. В Западной Сибири на глубинах 800–3000 м вскрыты термальные воды, многие из которых используются в лечебных целях.

Почвы характеризуются черноземными, каштановыми, солончаковыми, тундрово-глеевыми, подзолистыми, торфянисто-болотными, торфяно-болотными типами. Растительный покров представлен еловыми, сосновыми, лиственничными и пихтовыми лесами. Общая площадь, занятая лесом, составляет 67% территории равнины.

Климатическая особенность Западной Сибири определяется различными природно-ландшафтными зонами – от климата тундры до климата степени. В летний период преобладает циклоническая деятельность, которая наиболее сильно развивается между 54 и 60° с.ш., т.е. на большей части равнины, кроме крайнего севера, в результате преобладает короткое теплое и жаркое лето вследствие обилия солнечного света и тепла. В весенний период Азиатский антициклон ослабевает, происходит усиление ветра из-за интенсивной циклонической деятельности. Зимой климат формируется за счет циклонической деятельности, особенно в северо-западных районах, а на юге – за счет Азиатского максимума атмосферного давления. Континентальное положение, особенности циркуляции и характер рельефа обуславливают суровую зиму с сильными ветрами и метелями, весенние возвраты холодов, поздние весенние и ранние осенние заморозки. Самым холодным месяцем в зимний период является январь (температура от -28°С до -15,5°С), но иногда бывает декабрь (чаще на востоке) или февраль (чаще на юге). Зимой на северо-востоке Западной Сибири абсолютный минимум температуры достигает до -64°С, а на юге – до -47°С или -48°С, тогда как абсолютный максимум в январе – от -2°С до 5–6°С, соответственно. По данным метеостанций, образование снегового покрова на всей территории Западной Сибири происходит ближе ко второй декаде октября, только в северной части – в сентябре. Период снегостава приходится на начало октября на севере (побережье Карского моря), начало ноября – юге, третью декаду октября – центральную часть. Мощный снеговой покров в результате циклонической деятельности образуется в лесной зоне, особенно на северо-востоке, где наибольшая декадная высота достигает 80–90 см, а на юго-западе – 40–50 см. На севере тундры мощность снегового покрова составляет не более 30 см, а на юге тундры и в лесотундре – 55 см. Количество дней со снеговым покровом может достигать 250 дней в районе крайнего севера Западной Сибири, от 225 до 175 дней – уменьшаясь с севера на юг в лесной зоне, соответственно, а также 150–160 дней – в степной зоне (Орлова, 1962).

По спутниковым данным, на территории Западной Сибири достоверно значимых различий в датах образования и разрушения снегового покрова за период 2000–2015 гг. не выявлено, а за счет достаточного количества осадков формирование устойчивого снегового покрова происходит на 5–7 дней раньше, чем установится постоянная отрицательная температура (Титкова и др., 2017). По наблюдениям на постах Росгидромета характеристики снегового покрова отличаются с 1976 г. по 2020 г. (Доклад..., 2020; 2021). На юге Западной Сибири в зимние сезоны последних 5 лет наблюдались тенденции уменьшения максимальной высоты снегового покрова и продолжительности его залегания (рисунок 2.1.2).



а) Коэффициенты линейного тренда (см/10лет) в рядах максимальной за зимний период высоты снежного покрова. б) Коэффициенты линейного тренда (дни/10лет) в рядах числа дней со степенью покрытия окрестностей станции снегом более 50%. 1976-2019гг.

Рисунок 2.1.2. – Изменение характеристик снегового покрова на территории России в период 1976–2019 гг. по данным Росгидромета (Доклад..., 2020)

В лесной зоне Западной Сибири зимой средняя скорость ветра в северной тайге составляет 3,5–4 м/с, в средней – 2,2–3 м/с, за исключением долины р. Обь, где скорость увеличивается, в южной – 3,4–4 м/с. В лесостепной и степной зонах скорость ветра около 5–7 м/с, но скорость более 6 м/с чаще в степной зоне и в центральной зоне лесостепи (Барабинск) (Орлова, 1962).

На рисунке 2.1.3 и таблице 2.1.1. представлены «розы» ветров в холодный и теплый периоды года и частота повторяемости направления ветров в некоторых городах Западной Сибири.

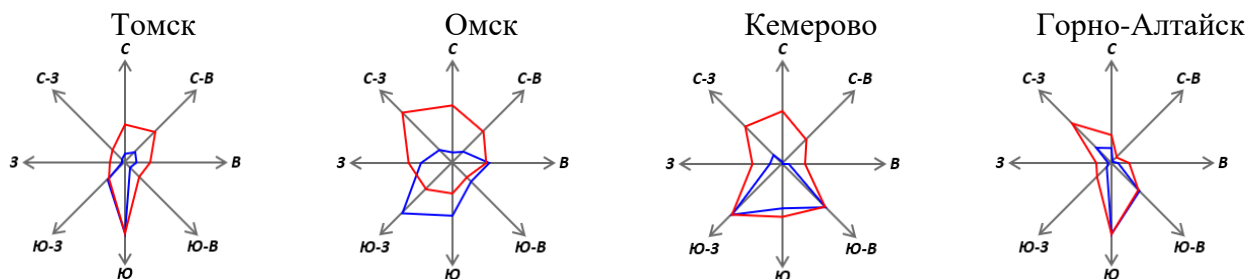


Рисунок 2.1.3. – «Роза» ветров в январе (синяя линия) и июле (красная линия) в некоторых городах Западной Сибири ([http://stroydocs.com/info/e\\_veter](http://stroydocs.com/info/e_veter))

Территория Западной Сибири отличается юго-западным переносом из-за равнинного рельефа и барического градиента с юго-юго-востока на запад-северо-запад в холодное время. Юго-восточное и юг-юго-западное направление ветров наблюдаются в восточной части

Западной Сибири за счет влияния гор и высокой области давления, характерной для Восточной Сибири, а вдоль долины р. Енисей – южное направление. Повторяемость юго-западных ветров в зимний сезон и в переходные сезоны в лесной и степной зонах составляет около 75%, южных – в степной зоне, а на крайнем севере – 40–65%. В летний период на широтах до 60° с.ш. главным является северное и северо-западное направление ветров, южнее 60° с.ш. – северное и западное, в предгорьях – южное (Орлова, 1962).

Таблица 2.1.1. – Повторяемость направлений ветра за год в некоторых городах Западной Сибири

Город	Направление ветра и частота в %							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Новосибирск	10,1	6,9	3,8	10	25,6	19,7	15,6	8,3
Томск	6,7	8,5	8	6,5	26,4	25,4	11,3	7
Стрежевой	8,9	6,9	6,6	13,8	17,7	19,9	15,3	12,9
Кемерово	8,5	7,5	4,9	16,6	23,8	17,6	12,4	8,7
Омск	12,3	6,6	8,4	7,2	17,6	19,5	17,7	10,3
Междуреченск	3,9	4,7	13,8	20,6	15,1	24,4	10	7,5
Мыски	4,4	4,7	10,5	20,5	19,1	24,4	9,3	7,2
Горно-Алтайск	8,4	5,9	6,8	16,6	30,7	10,7	10,4	10,4
Павлодар	8,7	7,4	8,3	13,3	18,1	16,3	20,9	7,1
Усть-Каменогорск	11,1	5,0	11,2	26,5	10,9	8,1	11,8	15,4

данные метеостанций гидрометцентра на сайте [weatherarchive.ru](http://weatherarchive.ru)

*Восточная Сибирь* является отдельным физико-географическим регионом, с общей площадью более 7000 тыс. км<sup>2</sup>, расположенная с запада на восток между Западной Сибирью и Дальним Востоком, а с севера на юг между берегами морей Северного ледовитого океана и границами с Китаем и Монголией (Давыдова и Раковская, 1990). В геолого-тектоническом отношении основой является Сибирская платформа, образования которой началась в архее, что привело к поднятию фундамента и формированию Енисейского кряжа, плоскогорья и плато. Основой большей части территории является Среднесибирское плоскогорье, а на севере – низменности, на востоке – высокогорные системы Западных и Восточных Саян, Прибайкалья и Забайкалья, в которых выделяются межгорные котловины (Минусинская, Байкальская и др.).

Восточная Сибирь является бассейном главных водных артерий – р. Енисей и р. Лена. Так, р. Енисей отделяет равнинную Западную Сибирь от горных хребтов Восточной Сибири, в результате в центре левобережная часть реки – это Западная Сибирь, а правобережье реки – Среднесибирское плоскогорье. В Восточной Сибири находится уникальное озеро Байкал.

В Восточной Сибири располагаются Красноярский край, Иркутская область, Республики Бурятия, Хакасия и Тува, Забайкальский край. Характерны тундровые, лесотундровые, таежные, лесостепные, степные природно-ландшафтные зоны и зоны высотной поясности (рисунок 2.1.1).

Восточная Сибирь характеризуется природно-ландшафтными зонами – от арктического климата до климата степи. Климат является преимущественно резко континентальным. В зимний период характерна большая область высокого атмосферного давления, представляющую

собой азиатский антициклон, дающий ясную и сухую, морозную погоду. Так, средняя температура января может достигать  $-30^{\circ}\text{C}$ . Лето теплое, и даже жаркое в южной части. В целом колебание температур в разные сезоны достигает  $40-65^{\circ}\text{C}$ . В зимнее время преобладают южные ветры, сменяющиеся на восточные в летний и весенний сезоны. Выпадение осадков неравномерное на территории Восточной Сибири, зимы бывают малоснежными. Высота снегового покрова изменяется от 30 до 70 см, а местами – не более 10 см, максимальные значения (более 70 см) – наблюдаются в таежных зонах Среднесибирского плоскогорья и в горах. По данным Росгидромета (Доклад..., 2020; 2021), в Забайкалье, горах Алтая и Саяна, в последнее время увеличивается число дней со снежным покровом, а на юге Красноярского края – высота снегового покрова (рисунок 2.1.2).

В рамках данной диссертационной работы также представлен *краткий анализ природно-климатических условий в изучаемых городах юга Западной и Восточной Сибири*, которые особенно влияют на закономерности формирования аэрозольного загрязнения.

Выбранные для исследования города расположены в различных природно-ландшафтных зонах (рисунок 2.1.1, таблица 2.1.2). По типу природного ландшафта, в котором сформировался город, большая часть изучаемых городов расположена в лесостепной и низкогорной зонах.

Таблица 2.1.2. – Расположение изучаемых городов юга Сибири в природном ландшафте

Природный ландшафт, зона*	Город
Северо-таежная	Колпашево, Стрежевой, Тюмень**, Нижневартовск**
Юго-таежная	Братск
Подтаежная	Томск, Асино, Северск, Иркутск, Шелехов
Лесостепная	Омск, Красноярск, Кемерово, Ачинск, Киселевск, Юрга, Топки, Искитим, Сорск, Новосибирск, Барнаул, Свирск
Степная	Караганда***, Павлодар, Сорск, Черногорск, Саяногорск
Низкогорная	Междуреченск, Мыски, Новокузнецк, Горно-Алтайск, Усть-Каменогорск, Чита, Улан-Удэ, Кызыл

\* – данные из ландшафтной карты (по Исанченко А.Г., 1991: Соболева и Языков, 2010), \*\* – север Сибири, \*\*\* – Центральный Казахстан

*Направление ветра* в городах является одним из важных факторов распределения выбросов от источников, перенос от которых происходит согласно преобладающему направлению ветра, формируя зоны загрязнения преимущественно с подветренной стороны (РД 52.04.186-89; РД 52.04.667-2005). В рассматриваемых городах юга Западной Сибири преобладающими являются южные и юго-западные ветры (таблица 2.1.3) из-за особенностей атмосферной циркуляции в Сибири (География..., 1988). Но, в некоторых городах (Междуреченск, Мыски, Горно-Алтайск) наблюдается еще повышенная повторяемость направлений других ветров. Города юга Восточной Сибири отличаются по направлениям ветров.

*Рельеф местности* является важным фактором, определяющим качество воздуха и формирующий экологическую среду города (руководящий документ 52.04.667-2005). Изучаемые города расположены в основном на равнине, в предгорьях и долинах рек (таблица 2.1.4).

Предгорные и горно-котловинные города могут характеризоваться высокими показателями загрязнения воздуха за счет накопления поллютантов вблизи подстилающей поверхности. В городах с холмистой формой рельефа максимумы приземной концентрации примесей обычно больше, чем в городах с равнинной местностью (РД 52.04.667-2005; Касимов и др., 2014).

Таблица 2.1.3. – Главенствующие направления ветров в изучаемых городах юга Сибири

Главенствующее направление ветров за год	Город
Южный, юго-западный	Омск, Томск, Кемерово, Асино, Колпашево, Стрежевой, Юрга, Киселевск, Топки, Кемерово, Новокузнецк, Искитим, Сорск, Черногорск, Барнаул, Новосибирск, Караганда*, Тюмень**, Нижневартовск**, Саяногорск
Юго-западный, юго-восточный	Междуреченск, Мыски
Южный, юго-восточный	Горно-Алтайск
Юго-западный, западный	Красноярск, Ачинск, Павлодар
Северо-западный, юго-восточный	Иркутск, Свирск, Шелехов, Братск, Усть-Каменогорск
Северо-западный, западный	Улан-Удэ, Чита
Северо-восточный, восточный	Кызыл

по данным метеостанций гидрометцентра; \* – Центральный Казахстан, \*\* – север Сибири

Рельеф местности, включая расположение в долинах рек, оказывает влияние на повторяемость направлений ветров (Анапольская и Копзнева, 1979; Носкова и Обязов, 2015; Белан и др., 2018). В речных долинах также скорости ветра усиливаются и образуются условия аэродинамической трубы, что создает аэродинамическое распределение воздушных масс и условия для трансграничного переноса примесей по долинам рек. Большая часть изучаемых городов расположены в Обском бассейне, в долинах реки Обь и ее притоков: крупнейшего – р. Иртыш, крупных – р. Томь, Чулым, Бердь, Барнаулка. Выделяются города также в бассейнах главных больших рек Енисей, Катунь, а также больших рек Иртыш, Томь и Ангара (таблица 2.1.4). Ориентация речных долин на каждом их отрезке и направление течения реки может определять ветровой режим не только в самой долине, но и в городе (Анапольская и Копзнева, 1979; Фирсова и Клепиков, 2009) и в целом на территории региона (Носкова и Обязов, 2015). Следовательно, приуроченность города к долине реки определяет распределение ветра по направлениям. Например, в г. Колпашево преобладающие ветры (южный 23% и юго-западный 13% (<http://weatherarchive.ru/>)) совпадают по направлению с долиной реки Оби, на которой расположен город (Коженкова и Рутковская, 1966). Расположение Междуреченска между реками Томь и Уса и в предгорье определяет высокую повторяемость не только юго-западных (25%), но юго-восточных (20%) и восточных (14%) ветров. В большей части Иртышского бассейна направление воздушных масс совпадает с направлением движения водных потоков в зимний период, в течение которого формируется юго-западный перенос (Платонова и Скрипко, 2012). Преобладание юго-западных ветров (40%) в Красноярске обусловлено направлением долины реки Енисей с юго-запада на северо-восток (Анапольская и Копзнева, 1979).

Таблица 2.1.4. – Характеристика рельефа в изучаемых городах юга Сибири

Рельеф	Город	
Равнинный	Омск, Томск, Кемерово, Асино, Колпашево, Стрежевой, Юрга, Кемерово, Топки, Ачинск, Барнаул, Новосибирск, Павлодар, Тюмень**, Нижневартовск**, Искитим	
Холмистый	Караганда***, Киселевск	
Холмисто-котловинный	Красноярск, Саяногорск, Сорск, Черногорск	
Предгорный	Междуреченск, Новокузнецк, Мыски, Сорск, Свирск, Усть-Каменогорск, Саяногорск, Красноярск	
Горно-котловинный	Горно-Алтайск, Улан-Удэ, Чита, Кызыл	
Плоскогорный	Иркутск, Братск, Шелехов	
Долины рек	Город	Река (класс реки*)
Долины больших рек	Новосибирск, Колпашево, Нижневартовск***	р.Обь (большая, главная)
	Омск, Павлодар	р.Иртыш (большая, крупнейший приток р.Обь)
	Томск, Северск, Кемерово, Юрга, Мыски, Новокузнецк	р.Томь (большая, крупный приток р. Обь)
	Ачинск, Асино	р.Чулым (большая, крупный приток р. Обь)
	Красноярск, Саяногорск, Черногорск	р.Енисей (большая, главная)
	Тюмень	р.Тура (большая, приток р.Тобол)
	Иркутск, Свирск, Братск	р.Ангара (большая, крупнейший приток р. Енисей)
	Караганда	р.Нура (большая, главная)
Долины средних рек	Искитим	р.Бердь (средняя, приток р.Обь)
	Барнаул	р.Барнаулка (средняя, приток р.Обь)
	Усть-Каменогорск	р.Ульба (средняя, приток р.Иртыш)
	Чита	р.Чита (средняя, приток р.Ингоды)
Долины малых рек	Стрежевой	р.Пасол (малая, приток р. Обь)
	Киселевск	р.Калзагай (малая, приток р.Томь)
	Топки	р.Стрелина (малая, приток р.Томь)
	Сорск	р.Соря (малая, приток р.Бюря)
	Горно-Алтайск	р.Майма (малая, приток р.Катунь)
Междуречье	Междуреченск	между реками Томь и Уса (средняя, приток р. Томь)
	Шелехов	между реками Иркут (средняя, приток Ангары) и Олха (малая, приток р. Иркут)
	Кызыл	между Бий-Хем и Каа-Хем (большие, притоки)
	Улан-Удэ	между реками Селенга (большая, главная) и Уда (средняя, приток)

данные по геоморфологическим картам (Веденский И.Э., Герасимов И.П., Мещеряков Ю.А., 1964: География..., 2011; Макарова, 2015); \* – класс реки по длине (км) и площади бассейна (км<sup>2</sup>) (Савичев и др., 2005); \*\* – север Сибири, \*\*\* – Центральный Казахстан

## 2.2. Геоэкологическая характеристика атмосферного воздуха и снегового покрова

Сибирь является крупной минерально-сырьевой базой страны, на территории которой развиты различные отрасли промышленного производства, определяющие сложный характер геоэкологической обстановки (рисунок 2.2.1). В данном разделе работы наибольшее внимание

уделено вопросам геоэкологической оценке состояния атмосферного воздуха и снегового покрова в изучаемых городах юга Сибири, которые связаны с темой исследований.

С учётом типологии городов по численности населения (Манаева, 2018) в Сибири расположены города-миллионники, крупнейшие, большие, средние и малые города, последние два типа городов являются наиболее распространенными (рисунок 2.2.1).

Характерной экологической особенностью урбанизации в нашей стране является прямая зависимость роста численности городского населения и увеличения массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Касимов и др., 2014) (рисунок 2.2.1-2.2.2).

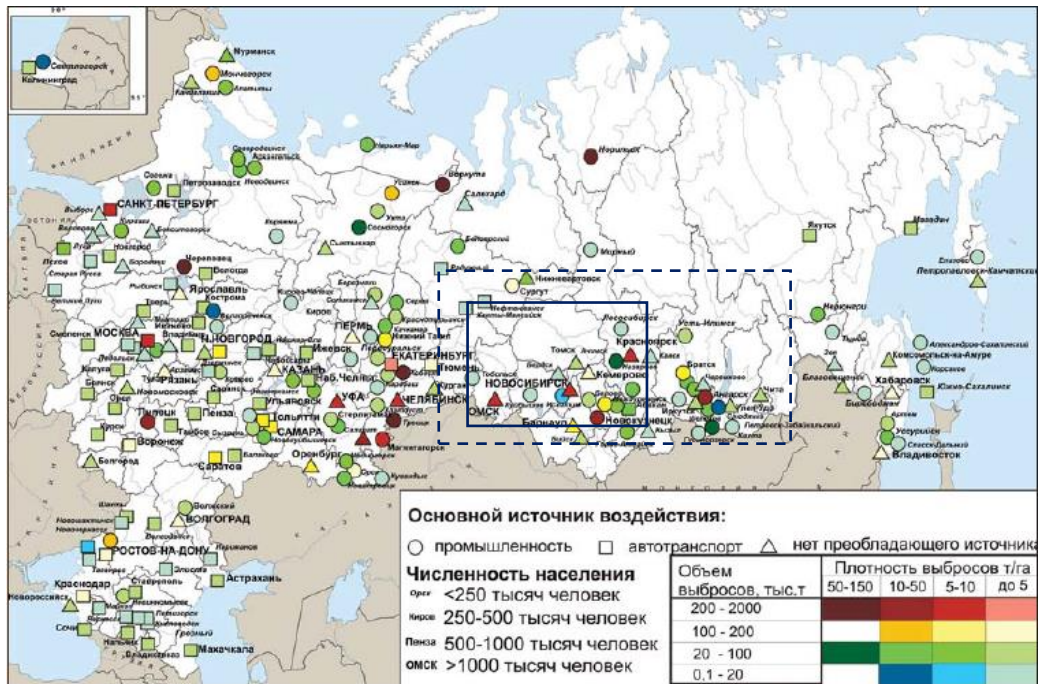


Рисунок 2.2.1. – Преобладающие техногенные источники загрязнения в городах и численность городского населения (Битюкова и др., 2011; Касимов и др., 2014; квадрат – см. рис. 2.1.1)

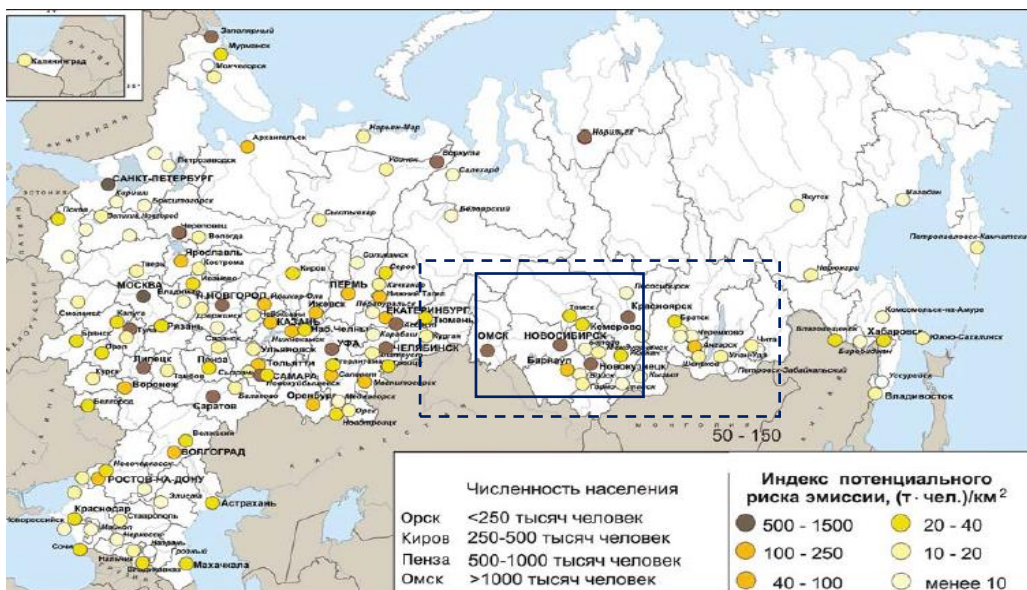
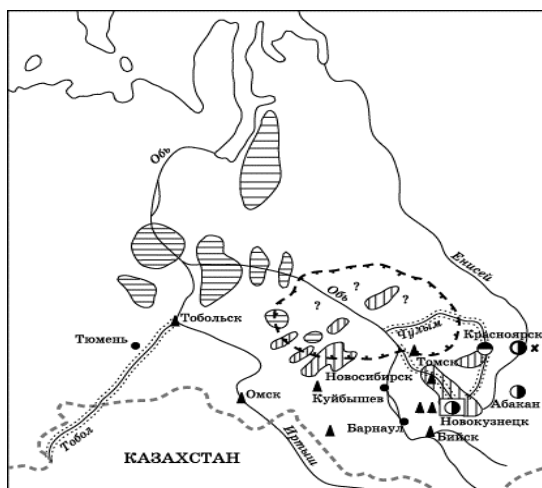


Рисунок 2.2.2. – Показатели потенциального экологического риска здоровью населения за счет выбросов в атмосферный воздух (Битюкова и др., 2011; квадрат – см. рис. 2.1.1)





- ▲ - химические и нефтехимические производства;
  - - производство алюминия;
  - - производство глинозема;
  - - комплекс металлургических производств;
- Основные районы добычи:
- нефть и газ;
  - уголь;
  - реки, вода которых непригодна для потребления;
  - районы падения ступеней ракет с Байконура;
  - ✕ - места испытаний или хранения химического оружия (по Федорову, 1994).

Рисунок 2.2.3. – Схема расположения главных источников загрязнения окружающей среды в Западно-Сибирском регионе (Рихванов, 1996)

В городах Сибири загрязнение атмосферного воздуха формируется от выбросов функционирующих промышленных производств, а также от предприятий теплоэнергетики (ТЭС), где преобладающим является твёрдый вид топлива (Битюкова и др., 2011).

На урбанизированных территориях Сибири формируется повышенный, высокий и очень высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, что создает потенциальный экологический риск для населения за счет эмиссий загрязняющих веществ (Битюкова и др., 2011), в т.ч. и твердых частиц, от предприятий различных отраслей производства (рисунок 2.2.2). В Сибири высокая плотность выбросов от стационарных источников ( $>10$  т/га) характерна для Красноярского края, Кемеровской и Тюменской областей; средняя (5–10 т/га) – для Омской и Томской областей (Битюкова и др., 2011; Касимов и др., 2014).

Для юга Сибири выделяются зоны по величине потенциала загрязнения атмосферы от низкого ( $\text{ПЗА} < 2,4$ ) до высокого ( $\text{ПЗА} = 3,0 - 3,3$ ). При низком ПЗА высокий уровень выбросов в атмосферный воздух не приводит к увеличению загрязнения, тогда как при высоком ПЗА – к активному накоплению загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (Безуглая, Смирнова, 2008; Касимов и др., 2014).

Промышленные источники это ведущие техногенные факторы формирования загрязнения атмосферного воздуха, которые являются лидирующими в 60% городов, а выбросы автотранспорта доминируют в 40% городов нашей страны (Битюкова и др., 2011; Касимов и др., 2014).

В сибирских городах функционируют различные отрасли промышленного производства – топливная, химическая, нефтеперерабатывающая, машиностроительная и металлообрабатывающая, металлургическая, производство строительных материалов, горнодобывающая и другие (рисунок 2.2.3). В структуре промышленности Западной Сибири при этом доминирующим производством является топливная отрасль ( $>60\%$ ), а в Восточной Сибири – металлургическая, преимущественно цветная металлургия ( $>40\%$ ).

По данным регулярных наблюдений за загрязнением воздушной среды на станциях Росгидромета, в городах Сибирского ФО выделяются города с повышенным и высоким (Томск, Новосибирск, Омск и др.), высоким и очень высоким уровнем загрязнения воздуха (Кемерово, Новокузнецк, Искитим, Черногорск, Ачинск, Красноярск и др.), что связано с воздействием промышленных предприятий и автотранспорта (рисунок 2.2.4) (Госдоклад..., 2018, 2019).

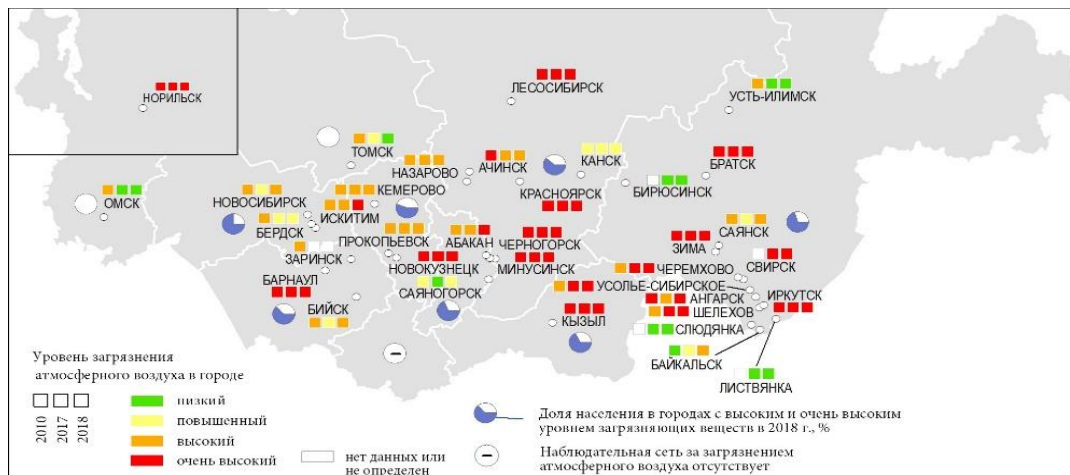


Рисунок 2.2.4. – Уровень загрязнения атмосферного воздуха в городах Сибири по данным станций наблюдений Росгидромета (Госдоклад..., 2019)

По данным Росгидромета (в Госдокладе..., 2018, 2019), наибольший объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух характерен для Кемеровской области (~1400 тыс. т) и Красноярского края (~2300 тыс. т), тогда для Томской (~240 тыс. т), Омской (~200 тыс. т), Иркутской (~640 тыс. т), Новосибирской областей (~125 тыс. т), Республики Хакасия (~106 тыс. т), Алтайского края (~190 тыс. т), Республики Алтай (~3,5 тыс. т) – более низкие суммарные объемы выбросов. В период с 2010 г. по 2018 г. отмечается тенденция существенного снижения суммарных объемов выбросов в Республике Тыва (на ~48%), Томской (на ~21%), Новосибирской (на ~26%), Омской (на ~10%), Кемеровской (на 0,5%) областях и Красноярском крае (на 6,5%) (Госдоклад..., 2018; 2019). В этот же период произошло уменьшение объемов выбросов диоксида серы (на 7%), оксидов азота (на 15%) и оксида углерода (на 12%). Объемы выбросов твердых веществ снизились от 750 до 450 тыс. т. (Госдоклад..., 2018; 2019). Тренд снижения в структуре загрязнения доли твердых веществ и диоксида серы в городах Сибири согласуется с общей тенденцией для всей страны в период с 1990-х гг. по 2011 г. за счет сокращения объемов производства и изменения топливного баланса. В восточной части страны, включая Сибирь, в сравнении с европейской частью, отмечается повышенная доля твердых веществ в атмосферном воздухе, обусловленная преобладанием угля в топливном балансе (Касимов и др., 2014).

В атмосферном воздухе городов Сибири концентрация взвешенных веществ составляет менее 1 ПДК (Томск, Кемерово, Омск, Красноярск и др.) или от 1 до 2 ПДК (Новосибирск, Искитим, Иркутск и др.) (Ежегодник..., 2020).

Наблюдения за состоянием снегового покрова на станциях Росгидромета показывает в городах Сибири значения водородного показателя снега близки к нейтральной ( $pH = 5-6$ ), а также слабощелочной среде ( $pH > 6$ ), что может быть связано с повышенным содержанием взвешенных веществ в снеговом покрове (Обзор..., 2018; 2020).

Формирование аэрозольного загрязнения на территории Сибири определяется выбросами местных источников, но также наблюдается трансграничный перенос примесей. Над южной частью Западной Сибири происходит стойкий западно-восточный атмосферный перенос загрязнений. Начиная с Урала, фоновая концентрация аэрозоля сначала уменьшается по мере продвижения на территорию Сибири, а затем начинает существенно увеличиваться, особенно после городов, например, Новосибирска и Кемерово. Подвигаясь далее, воздушные массы становятся более загрязненными в восточных районах, где расположено Восточно-Сибирское плоскогорье, которое также способствует накоплению поллютантов (Белан и др., 1994). Многолетние наблюдения (1997–2019 гг.) за составом атмосферных аэрозолей в тропосфере (0,5–7 км) над фоновым районом юга Западной Сибири (на юго-запад от Новосибирска) показывают значительное влияние местных источников на рост концентрации неорганических ионов и элементов (макро- и микроэлементы) в аэрозоле во время первой половины изучаемого периода, а в последние годы наблюдается возрастание вклада удаленных глобальных источников в поступление этих элементов (Белан и др., 2020).

На юге Западной Сибири наблюдаются трансграничные атмосферные потоки миграции чистого и загрязненного воздуха из промышленных центров Республики Казахстан, на направление и распространение которых оказывает влияние рельеф местности (Платонова и Скрипко, 2012). В юго-восточной и центральной части Западной Сибири формируются поля выпадений эоловой пыли вследствие эоловой миграции вещества, образующегося в результате процессов дефляции в засушливых зонах Ишим-Иртышского и Обь-Иртышского междуречий (Сажин и др., 2013).

На юге Западной Сибири по состоянию атмосферного воздуха Кемеровская область является наиболее экологически неблагополучным регионом, что определено не только по данным станций Росгидромета (в Госдокладе..., 2018; 2019), но и по таким показателям экологической напряженности как объемы выбросов загрязняющих веществ, соотношение уровней техногенной нагрузки с экономическими показателями, степень опасности атмосферного воздуха (превышение концентрации вещества над ПДК), риска здоровью населения (Адам и Мамин, 2001; Адам, 2003). Новосибирская и Омская области занимают второе место по экологической напряженности состояния атмосферного воздуха. Однако, степень риска здоровью населения сопоставима для Омской и Кемеровской областей. Новосибирская область более благополучна, что связано с большим количеством городов с низкой концентрацией предприятий (Адам, 2003).

По результатам исследования снегового покрова с начала 1990-х гг. по 2005 г. на различных промышленно-урбанизированных территориях юга Западной Сибири установлены типоморфные химические элементы и техногенные образования в нерастворимом осадке снега в районах воздействия нефтегазодобывающих (Стрежевой, Нижневартовск) и угледобывающих (Междуреченск) предприятий, редкометалльного производства (Усть-Каменогорск), ядерно-топливного цикла (Северск), машиностроения и металлообработки (Рубцовск), многопрофильного производства (Томск), сельскохозяйственного, нефтехимического (Томск) и горнодобывающего (Республика Хакасия) комплексов (Шатилов, 2001; Языков, 2006).

В Западной Сибири главной отраслью промышленности является *топливная*. Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция это одна из крупнейших в мире провинций по запасам нефти и природного газа. Основные предприятия нефтегазовой промышленности расположены в районах среднего и нижнего бассейна р. Обь (рисунок 2.2.3). Активно добыча нефти и газа осуществляется на месторождениях в *Тюменской и Томской областях, Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах. Города Тюмень, Стрежевой, Ханты-Мансийск, Нижневартовск* являются крупными нефтегазодобывающими центрами. Нефтегазовые объекты оказывают значительное воздействие на окружающую среду.

Например, в Томской области основной вклад в выбросы поллютантов в атмосферу вносит нефтегазовый комплекс (65–70%), расположенный на севере области (данные в ежегодных госдокладах о состоянии природной среды в Томской области).

На нефтяных месторождениях Западной Сибири на факелах сжигается более 75% попутного природного газа, при сжигании которого в атмосферу выбрасываются опасные химические вещества, включая ПАУ, сажу, пыль с различными металлами и неметаллами, природные радионуклиды (Климова, 2012). Исследователями из филиала Тюменского государственного нефтегазового университета в Нефтеюганске (С.В. Кудашев, П.П. Гриценко) на примере нефтегазовых месторождений Тюменской области показано, что продукты сгорания попутного нефтяного газа могут достигать высоты не менее 600 м, распространяясь на большие расстояния. При этом около 40% веществ выпадает вблизи факела, около 30% – на расстоянии нескольких сотен километров от источника и оставшиеся 20% – на расстоянии от тысяч до десятков тысяч километров. В снеговом покрове месторождений Тюменской области в повышенных концентрациях накапливаются нефтепродукты, сульфаты, токсичные тяжелые металлы (Hg, Ni, Zn и Cu) (Московченко, 2010).

Топливо-энергетический комплекс юга Западной Сибири представлен крупными угледобывающими предприятиями, которые расположены в *Кемеровской области (Кузбасс)*, где интенсивно разрабатывается один из крупнейших в мире Кузнецкий угольный бассейн, на долю которого приходится более 50% добычи угля в нашей стране. Определена редкометалльная и

радиоактивная геохимическая специализация углей Кузбасса, позволяющая рассматривать их как источник редких и редкоземельных элементов (Арбузов и др., 2000; 2005; 2007). В углях содержатся в качестве примесей другие металлы и металлоиды, в т.ч. токсичные (Волостнов, 2012; Белая и др., 2015; Osipova et al., 2019). При сжигании угля происходит антропогенная эмиссия элементов-примесей в атмосферный воздух в парогазовой форме и в составе тонкой фракцией золы-уноса, что может приводить к загрязнению компонентов природной среды (Юдович и Кетрис, 2005).

Кемеровская область отличается высокой техногенной нагрузкой, формирование которой обусловлена функционированием не только ведущей угольной промышленности, а также металлургического, химического и теплоэнергетического комплекса, в сумме составляющие 85% в структуре промышленного производства области. Машиностроение занимает всего лишь около 5% в производственной структуре области, сосредоточенное в основном в Юрге (Рябов и Столбова, 2017). Во многих промышленных городах Кемеровской области в период 1996–2005 гг. выявлена тенденция снижения уровня онкологическими заболеваниями легких и желудка у населения, обусловленная снижением загрязнения воздуха и воды канцерогенными веществами (Ларин и др., 2008).

*Города Междуреченск, Прокопьевск, Киселёвске, Ленинск-Кузнецкий, Березовский* наиболее интенсивно подвержены воздействию предприятий угольной отрасли, расположенных в черте города или в нескольких километрах от них. Например, в *Междуреченске* суммарный объем выбросов твердых частиц в атмосферный воздух составляет около 9 тыс. т, из которых на выбросы угледобывающих предприятий приходится более 4 тыс. т, а местных котельных – более 3 тыс. т (Осипова и др., 2017). Произошло изменение от среднего до низкого уровня пылевого загрязнения снегового покрова в пределах города с 1990-х годов (340 мг/(м<sup>2</sup>·сут.); Шатилов, 2001; Язиков, 2006) по 2015 год (130 мг/(м<sup>2</sup>·сут.); Осипова др., 2017). В 1990-х годах отмечалось повышенное концентрирование As, Yb, Tb, Sr, La, Sm, Au, Th, Al, P, V, Y, Zr, Lu, Ce (от 5 до 35 фонов) и S<sub>сульф.</sub>, C<sub>орг.</sub>, C<sub>общ.</sub> в твердом осадке снегового покрова на территории города (Шатилов, 2001; Язиков, 2006). С 1996 г. по 2005 г. в Междуреченске наблюдается стабильно высокий уровень заболеваемости раком лёгких у населения в сравнении с другими городами области, но с прогнозом к снижению с 2006 г. по 2015 г. (Ларин и др., 2008).

На юге Кемеровской области, в г. *Мыски*, расположено самое крупное и мощное предприятие теплоэлектроэнергетики в Кузбассе, производящее около 30% электрической энергии – *Томь-Усинская ГРЭС*, использующая в технологическом процессе угли Кузнецкого бассейна. ГРЭС занимает лидирующее место по объемам выбросов загрязняющих веществ (>50 тыс. т/год) среди объектов теплоэнергетики в Кемеровской области (Володеев, 2006). Суммарные выбросы ГРЭС составляют более 60% от общей массы выбросов загрязняющих веществ по городу Мыски, и

более 5% от валовой массы выбросов всех промышленных источников в области (Госдоклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области, 2013; 2016; 2019). На долю выбросов твердых веществ от ГРЭС приходится около 24% от общей массы выбросов загрязняющих веществ по городу Мыски. В составе выбросов ГРЭС доминирует зола углей (> 6 тыс. т/год) и пыль неорганическая (>4 тыс. т/год), а также содержатся сажа (>300 т/год), пыль каменного угля (>0,7 т/год), мазутная зола (>0,1 т/год) и другие (фондовые данные).

В районах верхней и средней частей бассейна р. Обь функционируют *химические, нефтеперерабатывающие производства, машиностроительные и металлургические комплексы, а также предприятия строительной индустрии* (рисунок 2.2.3).

Наиболее интенсивное химическое загрязнение окружающей среды характерно для *Кемеровской области. В г. Кемерово*, административном центре области, расположены химические заводы. Один из них – коксохимический завод, крупнейшее предприятие в стране по производству металлургического кокса, который является мощным источником загрязнения высокотоксичными и канцерогенными веществами (например, бенз(а)пирен ~47%, от общего выброса по Кемеровской области), что подтверждено эпидемиологическими исследованиями (Мун и др., 2005). *Кемеровская ГРЭС, в г. Кемерово*, является крупным предприятием теплоэнергетики, где используются угли Кузнецкого бассейна. В составе выбросов ГРЭС присутствуют оксиды азота, серы, углерода, бенз(а)пирен, углерод (сажа), зола твердого топлива.

В г. *Юрге* (Кемеровская обл.) важное место в промышленном секторе экономики занимает градообразующее предприятие *машиностроительного комплекса*. В северо-западной части города образована промышленная зона, в которой сконцентрированы машиностроительный, ферросплавный и абразивный заводы, а также ТЭЦ, использующая угли Кузнецкого бассейна, и завод по производству теплоизоляционных строительных материалов. В Юрге предприятия машиностроения вносят основной вклад (71,2%) в суммарный объем выбросов от всех стационарных источников. На данный момент на машиностроительном заводе и его ТЭЦ существуют проблема износа оборудования и пылегазоочистных очистных сооружений, что способствует увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Наибольший вклад в валовый выброс вносят зола углей (39%), оксиды азота, оксиды углерода, диоксид серы, сажа, прочие примеси (бенз(а)пирен, свинец и его соединения, хром, никель и др.) (Генплан...., 2011). По данным измерений загрязняющих веществ в воздухе в период 2012–2016 гг. на маршрутных постах Центром гигиены и эпидемиологии по Кемеровской области, выявлено увеличение концентрации взвешенных веществ на границе промзоны, но превышение ПДК<sub>с.с</sub> не наблюдалось (в госдокладе о состоянии окружающей среды Кемеровской области, 2016).

В г. *Новокузнецк* (Кемеровская область), где расположен крупнейшее в стране металлургический комбинат «ЕВРАЗ ЗСМК» (сталеплавильное производство) и алюминиевый

комбинат, в период 2014–2018 гг. среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в воздухе (взвешенные вещества, диоксид и оксид азота, диоксид серы, оксид углерода, сажа, фенол, водород фтористый и др.), контролируемые на стационарных постах Росгидромета, не превышали ПДК. Только среднегодовые концентрации бенз(а)пирена были на уровне 5,7–6,8 ПДК, с тенденцией увеличения с 2014 г. по 2018 г. на 19% (в госдокладе о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области, 2019).

В конце 1990-х годов (Некипелый и др., 1998; 2003; Геолого-экологическая ..., 1998) по результатам исследования компонентов природной среды, включая снеговой покров, в пределах Новокузнецка и пригородной зоны был установлен ореол загрязнения, протягивающийся в долине реки Томь на расстояние более 45 км при ширине до 22 км. Контуры зоны опасного загрязнения компонентов природной среды охватывали промышленные зоны металлургических комбинатов, агломерационно-обогажительной фабрики, алюминиевого завода, завода ферросплавов и прилегающие к ним территории. Именно с этих районов в результате трансграничных переносов происходит загрязнение компонентов природной среды других областей, в частности Томской области. Современными исследованиями на территории Новокузнецка (Журавлева, 2017) показана слабощелочная реакция снеговой воды ( $\text{pH}=7,05\text{--}8,03$  ед., при фоне 6,85 ед.), обусловленная содержанием в воздухе оксидов щелочных металлов, частиц золы и сажи. В районе поста наблюдения (ПНЗ-9), расположенного недалеко от ЗСМК, в снеговой воде содержание Al, Cu, Mn и V превышает ПДК<sub>кр.х</sub>. Также в пробах определено повышенное содержание взвешенных веществ ( $1,5 \text{ г/дм}^3$ ) в сравнении с данными для проб из других постов ( $0,04\text{--}0,8 \text{ г/дм}^3$ ) и фонового района ( $0,1 \text{ г/дм}^3$ ). Исследование гранулометрического состава снеговой воды на территории города показало широкий диапазон размеров взвешенных частиц ( $0,08\text{--}100 \text{ мкм}$ ). На долю микрочастиц с размерами опасными для здоровья человека менее 2,5 мкм приходится 7,4%, менее 10 мкм – 38,5%, менее 35,5 мкм – 90% (Журавлева, 2017). Почвогрунты территории г. Новокузнецк, с геохимической точки зрения, обогащены сурьмой, кальцием, барием, золотом, лютецием, мышьяком, лантаном и самарием, что связано с использованием металлургического шлака для планировки территории (Языков, 2006).

Вблизи г. Кемерово функционирует один из крупнейших в стране *цементный завод* (3,7 млн тонн цемента в год). Завод расположен в 3 км от жилой зоны *г. Топки*, являясь главным источником пылевого загрязнения территории, ежегодно выбрасывая значительные объемы пыли неорганической. Основными сырьевыми компонентами для производства цемента являются известняк и глина, добываемые на рядом расположенном месторождении. В производстве используется мокрый технологический способ. Город Топки отнесен к группе городов Кемеровской области с относительно высокими показателями заболеваемости и

смертности, а также с высоким уровнем заболеваемости раком легких (Эпидемиология..., 1990; Ларин и др., 2008; Мун и др., 2005; 2013).

В Сибири еще одно крупное *предприятие по производству цемента* (2,1 млн тонн цемента в год) расположено в г. *Искитим* (Новосибирская область), на берегу р. Бердь. В технологии производства используется мокрый способ производства, а технологическим топливом является природный газ. Источником сырья является месторождение известняков и глинистых сланцев, расположенное вблизи завода. Доля выбросов пыли неорганической составляет 24% (Программа повышения экологической эффективности). Исследования запыленности снегового покрова в сочетании с методами математического моделирования и спутниковых данных в районе расположения цементного завода г. Искитим показали преимущественный перенос твердых (пылевых) частиц в север-северо-восточном направлении от предприятия, связанное с орографическими особенностями местности. Наибольшие значения выпадений пыли зафиксированы в 450 м от источников завода. В радиусе завода от 1 до 2 км суммарное содержание пыли неорганической в снеговом покрове изменяется от 626 до 969 тонн (Щербатов и др., 2014; Леженин и др., 2015).

В целом, у населения, проживающего в районах размещения цементных заводов, может происходить развитие хронического бронхита, бронхиальной астмы, онкологических заболеваний, заболеваний легких, конъюнктивита, дерматита и других заболеваний, а многие работники заводов страдают силикозом легких (Семиненко и др., 2012).

В городах *Омской и Томской областях, в Красноярском крае* функционируют крупные *нефтеперерабатывающие и нефтехимические производства*.

В г. *Омск*, административном центре Омской области, основными отраслями промышленности, вносящие значительный вклад в загрязнение воздуха, являются нефтеперерабатывающая, химическая промышленность, машиностроение, производство стройматериалов и предприятия теплоэлектроэнергетики, использующие высокочольные угли Экибастузского бассейна. В северной промышленной зоне города, в Советском округе, расположен один их крупнейших в стране и мире Омский нефтеперерабатывающий завод (ОНПЗ) – комплекс, использующий нефть Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции для производства продукции с применением цеолитсодержащих катализаторов в процесса каталитического крекинга, которые производятся на этом же заводе (<http://onpz.gazprom-neft.ru/>).

По данным измерений на стационарных постах контроля атмосферного воздуха в Омске, в 2010 г. в Советском округе выявлен высокий уровень загрязнения воздуха взвешенными веществами, диоксидом азота, аммиака, формальдегидом и бенз(а)пиреном, а в 2018 г. – низкий уровень. Эта положительная динамика по снижению уровня загрязнения связана с



эффективными природоохранными мероприятиями на предприятиях (в госдокладах о состоянии окружающей среды Омской области, 2015; 2019).

Снегогеохимические исследования, проведенные СФ «Березовгеология» в начале 1990-х годов на территории г. Омск, показали, что в Советском округе преимущественно формировался низкий уровень пылевой нагрузки с небольшими ореолами со средним уровнем загрязнения (250–650 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)). На северо-западе этого же округа в снеговом покрове в повышенных концентрациях накапливались Cu, Cr, Zn, Hg и Cd (Григорьев и др., 1999). В период 2013–2016 гг. нами также установлен низкий уровень пылевого загрязнения снегового покрова в районе расположения ОНПЗ (Литау и др., 2015; Шахова, 2018). В снеговой воде выявлены в повышенных концентрациях лантаноиды, V, Ni, Pb и Mg относительно кларков речной воды (Виноградов, 1967) и речных вод Средней Оби (Шварцев и др., 1996).

«Промышленным сердцем» г. Омск является Октябрьский промузел, расположенный в одноименном административном округе, где сосредоточены предприятия нефтехимического, химического (производство техуглерода, автомобильных шин), строительного, машиностроительного, приборостроительного, оборонного и ракетостроительного комплексов. По величинам индекса загрязнения воздуха в Октябрьском округе в период с 2013 г. по 2018 г. уровень загрязнения взвешенными веществами, оксидом углерода, аммиаком, формальдегидом и бенз(а)пиреном изменился с очень высокого до низкого (в госдокладах о состоянии и об охране окружающей среды Омской области, 2015, 2019).

По результатам исследования снегового покрова в начале 1990-х годов выявлен ореол со значениями пылевой нагрузки более 250 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), охватывающий Октябрьский промузел и район угольной ТЭЦ-5. Суммарный показатель загрязнения снегового покрова изменялся от среднего до высокого уровня за счет повышенных концентрации W, Hg, Sn, Cd, Cu в твердом осадке снега в районе промузла (Григорьев и др., 1999). Проведенная нами снегогеохимическая съемка в 2013–2014 гг. позволила выделить ореол пылевого загрязнения снегового покрова, в котором пылевая нагрузка изменяется от среднего до очень высокого уровня загрязнения в окрестностях Октябрьского промышленного узла и ТЭЦ-5 (Литау и др., 2015). В г. Омск, ТЭЦ-5 располагается в Центральном округе и преимущественно использует высокочольные экибастузские каменные угли. По официальным данным доля выбросов ТЭЦ-5 составляет более 40% от объема всех выбросов стационарных источников (в госдокладах о состоянии окружающей среды в Омской области). Экибастузские угли, с геохимической точки зрения, преимущественно специализированы на сидерофильную группу элементов, также в качестве примесей в углях и их золах содержатся уран, торий, редкие, редкоземельные элементы, тяжелые металлы и металлоиды (Калинина, Арбузов и др., 2012; Кажумуханова и Арбузов, 2015).

В целом для Омска характерна динамика снижения выбросов загрязняющих веществ, в т.ч. и твердых, в атмосферный воздух с 2012 г. по 2015 г. (данные из госдокладов). Кроме вклада выбросов местных источников в уровень загрязнения, происходит трансграничное поступление воздушных масс на территорию Омской области из ряда промышленных центров Республики Казахстан, расположенных в Иртышском бассейне (Платонова и Скрипко, 2012).

В г. Ачинск (Красноярский край), на севере в ~20 км от города, расположен нефтеперерабатывающий завод. Для производства более 100 видов нефтепродуктов на Ачинском НПЗ используются нефти Западно-Сибирских месторождений. Объемы выбросов от завода в атмосферу города составляют третью долю от объемов выбросов предприятий по производству кокса, нефтепродуктов и ядерного материала в крае (в госдокладах о состоянии окружающей среды Красноярского края). В составе разрешенных выбросов завода входят углеводороды, ванадия пятиокись, оксиды азота, серы и углерода. На территории г. Ачинск выявлены геохимические аномалии Ве, Мо, W, Ni в компонентах природной среды, в т.ч. и в снеговом покрове, приуроченные к району расположения НПЗ (Гос. гео. карта РФ, 2001). В снеговой воде из района расположения НПЗ выявлены повышенные концентрации V и Ni (Шахова, 2018).

В центральной части Ачинска определены концентрации SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO и аэрозолей в 5 раз выше, чем на периферии города. В аэрозолях города в повышенных концентрациях накапливается V и Cr. В тоже время, наибольшие концентрации этих веществ наблюдались в зимний период, нежели в летний, что связано с интенсификацией выбросов промпредприятий города и автотранспорта. В Ачинске функционирует крупный глиноземный комбинат, воздействие которого могло отразиться в повышенных концентрациях Ca, Al, Mn, Mg в составе аэрозолей относительно данных для фонового района и городов Сибири (Белан и др., 2007).

В г. Томск, в районе северного промышленного узла, в 12 км от центра, функционирует один из крупнейших в стране *нефтехимический комплекс* – ООО «Томскнефтехим» (ТНХК), входящий в структуру СИБУРа. Комплекс включает производство полимеров (полипропилен и полиэтилен высокого давления) и мономеров (этилен, пропилен, полиэтилен низкой плотности). Кроме того, осуществляется производство катализаторов (диэтилалюминийхлорид; микросферический треххлористого титана). В число веществ, выбрасываемых в результате производственных процессов, входят специфические органические соединения (метанол, гептан, бензол и др.), пары углеводородов, микробиоценозы (углеводородоокисляющие и другие бактерии) и индифферентная пыль (Экология..., 1994). На ТНХК одними из основных источников выбросов в атмосферный воздух являются факельные установки, оснащенные устройством для бездымного (бессажевого) сжигания газов, котельные и печи цеха пиролиза. В районе расположения ТНХК формируется очаг с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха (данные в госдокладах о состоянии окружающей среды в Томской

области) (рисунок 2.2.5) и бромная геохимическая провинция в компонентах природной среды и живом веществе (рисунок 2.2.6) (Эколого-геохимические..., 2006).

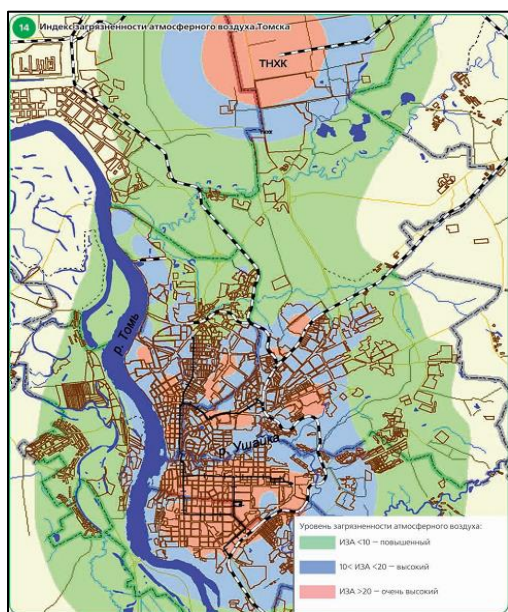


Рисунок 2.2.5. – Карта-схема распределения индекса загрязнения атмосферы на территории г. Томска (госдоклад о состоянии окружающей среды в Томской области, 2014)

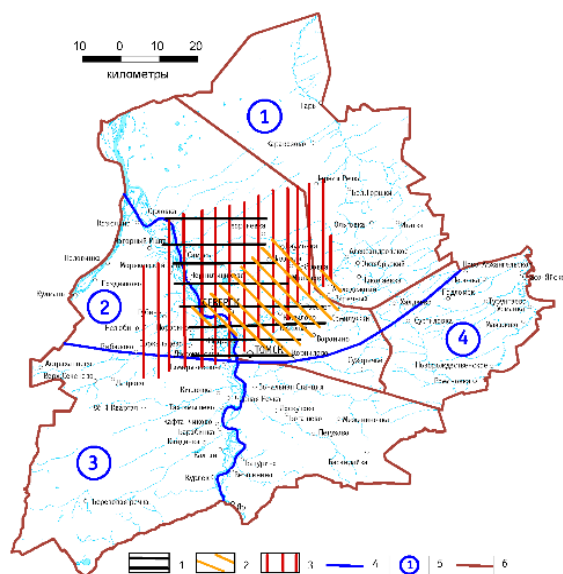


Рисунок 2.2.6. – Зонирование территории южного Томского района (Томская обл.) по данным эколого-геохимических исследований компонентов природной среды и живого вещества (1 – ТЭК, 2 – ТНХК, 3 – СХК) (Эколого-геохимические..., 2006)

Бром и сурьма были выделены в компонентах природной среды, в т.ч. и в снеговом покрове (Экология..., 1994; Шатилов, 2001; Язиков, 2006, Эколого-геохимические..., 2006) и живом веществе (Барановская, 2011, 2015) как элементы-индикаторы, характеризующие воздействие ТНХК. Установлена динамика существенного снижения содержания бенз(а)пирена в снеговой воде в зоне воздействия ТНХК в 2016 г. (Шахова, 2018) в сравнении с данными начала 1990-х годов, когда концентрация этого вещества в снеговой воде превышала предельно допустимые концентрации в десятки раз (Экология..., 1994). В почвах в районе расположения ТНХК определены уровни накопления таких ароматических углеводородов, как гептан, бензол, толуол, бенз(а)пирен и ряд других соединений (Язиков, 2006).

На территории Томского района, где расположены предприятия СПУ г. Томска, в период с 1999 г. по 2003 г. у взрослого населения наблюдался рост заболеваний органов дыхания, кровообращения, эндокринной и мочевыделительной системы, что может быть связано с экологическими факторами природной среды (Эколого-геохимические..., 2006).

Наибольший вклад в общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по Томску вносят предприятия *теплоэлектроэнергетической отрасли* (ГРЭС-2, ТГК-11, ТЭЦ-3) – более 60% выбросов от всех стационарных источников (по данным госдокладов о состоянии окружающей среды Томской области). В центральной части г. Томск очень высокий уровень

загрязнения атмосферного воздуха по значениям ИЗА (рисунок 2.2.5) может быть связан с функционированием одного из приоритетных источников загрязнения как ГРЭС-2, которая использует каменный уголь (Кузнецкий бассейн, марки «Д» и «ДГ») и природный газ в топливном балансе. По данным документации предприятия, начиная с 2009 г. наблюдается тенденция увеличения доли используемого угля в сравнении с данными для предыдущих лет в зимний период. При сжигании твердого топлива с дымовыми газами в атмосферу выбрасываются летучая зола углей, диоксид и оксид азота, диоксид серы, бенз(а)пирен, соединения Fe, Mn, Ni, Cr, сероводород, фтористые соединения, углеводороды (фондовые данные). В центральной части города, в районе расположения ГРЭС-2, определена сильная степень геоэкологической напряженности (Шакирова, 2007).

На территории г. Томск и пригорода в период с 1974 г. по 1989 г. коллективом, возглавляемым А.П. Бояркиной и В.В. Байковским, установлено, что ореолы с максимальными уровнями притока пыли и химических элементов на снеговой покров были расположены в северных и северо-восточных окраинах города. Сделан прогноз атмосферных пылевых выпадений до 2000 г. – на уровне  $40 \cdot 10^6$  мкг/дм<sup>2</sup> при условии стабильности выпадений на уровне 1974–1980 гг. (Бояркина и др., 1993). В 1993 г. по результатам отбора снеговых проб в различных районах города среднее значение пылевой нагрузки составило 134 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) (Шатилов, 2001; Язиков, 2006); 1993–1996 гг. – 190 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) (Летувнинкас, 1999; Летувнинкас, 2002), 1996–1998 гг. – 356 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) (Ильченко, 2000). В период 1996–1998 гг. очаги пылевого загрязнения снегового покрова пространственно соответствовали положению ГРЭС-2, домостроительному комбинату, заводам эмальпровод и сибкабель (518–707 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)). В 2006 г. средняя величина пылевой нагрузки на снеговой покров г. Томска составила 49 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), а максимальное значение было определено в районе размещения ГРЭС-2 (144 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) (Иванов, 2007).

В пробах твердого осадка снегового покрова за 1993 г. в юго-восточной части города, в районе размещения Сибэлектромотора и ЭХСБС, в повышенных концентрациях относительно фона накапливались Sr, Lu, Tb, U, La, Sm, Yb, Eu (Шатилов, 2001; Язиков, 2006). Ближе к концу 1990-х годов наиболее контрастные геохимические аномалии Pb, Zn, Co, Cu, Cr, Ni, V в снеговом покрове были определены в районе расположения ГРЭС-2, заводов Эмальпровод и Сибкабель, производства режущих инструментов, а также электромеханического и электролампового заводов, в районе автотранспортных узлов (Ильченко, 2000).

По данными ежегодных наблюдений ОГБУ «Облкомприрода» высокая плотность взвешенных веществ в снеговом покрове ( $>10$  г/м<sup>2</sup>) за последнее десятилетие постоянно приходится на районы расположения ГРЭС-2, кирпичных заводов и проблемных транспортных узлов города (данные госдокладов о состоянии окружающей среды в Томской области).

Центральная, северо-восточная и северо-западная части г. Томска определены как зоны очень высокого онкологического риска, что может быть обусловлено высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха из-за влияния промышленности (Волкотруб и Чемерис, 2002).

Радиационная опасность Западно-Сибирского региона, в пределах бассейна р. Обь, связана с объектами ядерно-технологического цикла, находящиеся в Новосибирске (ПАО «НЗХК»), Северске (Сибирский химический комбинат, СХК) и Озёрске (НПО «Маяк») (Рихванов, 1996).

Исследования снегового покрова в районе расположения НЗХК показали, что по мере удаления от комбината на расстояние до 20 км снижается пылевая нагрузка и содержание в твердом осадке снега элементов-индикаторов (Ba, Sr, Zr, Y, Nb). Выявлены также высокие концентрации в пробах лантаноидов, урановая природа радиоактивных элементов по торий-урановому отношению, отличное от природного отношение изотопов урана  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  (137,8 ед.), микрочастицы оксидов урана в твердом осадке снега (Артамонова, 2012; 2014).

В южной части Томской области, в г. Северск, в 10–15 км от г. Томск, размещен один из самых крупных в мире ядерно-топливный комплекс по производству оружейного плутония – *Сибирский химический комбинат* (СХК), в состав которого также входит мощный теплоэнергетический комплекс (ТЭЦ), где используется кузнецкий уголь. На территории комбината функционировало 5 промышленных реакторов. С 1990-х по 2008 года выполнялась поэтапная остановка реакторов. В 2008 г. на СХК для прекращения производства оружейного плутония была произведена окончательная остановка последних двух промышленных реакторов (<http://atomsib.ru/novosti/897-okonchatelnaya-ostanovka-promyshlennogo-reaktora-sxk>).

Результаты аэрогамма-спектрометрической съемки в зоне воздействия СХК в начале 1990-х годов, после аварии в 1993 г., показали участки повышенной плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ , охватывающие северо-восточное направление до 30–40 км от СХК. Выявлено превышение глобального и регионального фона накопления в чердачной пыли  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$  (Рихванов, 1997).

Многолетние исследования (с 1990-х до середины 2000-х гг.) геохимических особенностей компонентов природной среды (почвенный и снеговой покров, растительность, донные отложения, водные объекты, биосубстраты человека) сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ (в н.в. отделение геологии) на различном удалении от СХК позволили выделить геохимические индикаторы его долговременного воздействия (Экология ..., 1994; Рихванов и др., 1996; Язиков, Рихванов, 1996; Рихванов, 1997; Шатилов, 2001; Архангельская, 2004; Язиков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006; Рихванов и др., 2008; Барановская, 2003; 2011; Таловская, 2007; Жорняк, 2009; Межибор, 2010; Наркович, 2012; Иванов, 2018). По изучению торфяников выявлено, что вторая половина XX века в южной части Томской области характеризуется интенсивным поступлением в природную среду специфических радионуклидов и ряда других элементов. Зафиксировано содержание техногенных радионуклидов, ртути, радиоактивных,

редких и редкоземельных элементов выше фоновых, глобальных и региональных уровней в почвах (Архангельский, Рихванов, 2001; Язиков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006; Жорняк, 2009), годовых кольцах срезов деревьев (Архангельская, 2004), в поверхностных и подземных водах (Зуев, 1996; Попов и др., 1996; Леонова и др., 2006 и др.) и живых организмах (Москвитина, 1996; Ильинских, 1996; Барановская, 2003; 2011; Эколого-геохимические..., 2006 и др.). Типоморфными компонентами, отражающие воздействие предприятий СХК в твердом осадке снегового покрова являются Lu, F, Zn, Cs, U, Lu, Yb, La, графит, оксиды урана, в почвах – Lu, Zn, F, La, Sm,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , микровключения «горячих» частиц, в живом веществе – U, Th, РЗЭ, Br, Pu. Пробы твердого осадка снегового покрова снега в северо-восточном секторе от СХК характеризуются повышенными уровнями накопления U, Th, Co, Sc, Hf, Ta.

Установлено, что формирование ореолов загрязнения компонентов природной среды происходит не только в направлении главенствующего ветра (на север-северо-восток), но и в других направлениях от СХК. Воздействие СХК распространяется на 30–100 км, т.е. за пределы 30-км зоны. По результатам эколого-геохимических исследований компонентов природной среды и живого вещества выделены зоны воздействия основных предприятий СПУ – СХК, ТЭК и ТНХК на расстояниях 30, 50 и 100 км от СПУ (рисунок 2.2.6).

В Сибири также радиационными факторами являются последствия ядерных испытаний на полигонах. Например, трансграничное воздействие Семипалатинского полигона на территорию бассейна реки Обь оценено для Алтайского края, Республик Алтай, Тува, Хакасия, а также Томской, Новосибирской и Кемеровской областей, где обнаруживаются признаки присутствия следов от испытаний ядерных устройств в разные периоды (Рихванов, 1996; 1997). Нами также выполнена оценка динамики глобального изменения геохимического состава аэрозольных выпадений по результатам изучения горных ледников Алтая, на примере крупнейшего ледника – Большой Актру. Локальные повышения содержания практически всех проанализированных элементов (группа редких, редкоземельных, радиоактивных элементов, тяжелых металлов) в целом совпадают со временем прохождения следов от испытания ядерного оружия на Семипалатинском полигоне. Определено для многих химических элементов два тренда – снижение концентраций в период 1945–1970 гг. и снова их увеличение, начиная с 1970-х годов, что вероятно связано с ядерными взрывами на Семипалатинском полигоне и в Китайской народной республике (Рихванов и др., 2006; 2008).

Крупное *предприятие цветной металлургии* расположено в г. *Красноярск*, административном центре Красноярского края – крупнейший промышленно-экономический регион Центральной и Восточной Сибири. В городе расположено мощное производство первичного алюминия компании РУСАЛ – Красноярский алюминиевый завод (КрАЗ), использующий в качестве сырья глинозем, производимый на Ачинском глиноземном заводе.

Согласно проведенным исследованиям (Хлебопрос и др., 2012) и данным ежегодных Государственных докладов о состоянии окружающей среды в Красноярском крае (2015; 2016) основным источником поступления фтора в окружающую среду г. Красноярск являются выбросы алюминиевого производства (КрАЗ). В ближней зоне воздействия алюминиевого завода установлены наибольшие концентрации фтора в снеговом покрове (Танделов, 2012; Хлебопрос и др., 2012). Кроме фтористых соединений в составе выбросов КрАЗ содержатся пылегазовые вещества (Схема..., 2008). По данным Росгидромета, концентрация фтористого водорода в воздухе г. Красноярск не превышает ПДК. Но, расположение Красноярска в котловине и в долине реки Енисей определяет циркуляцию воздушных масс, формирующие низкое рассеивание примесей в воздухе, которое приводит к накоплению поллютантов в городе (Хлебопрос и др., 2006; Леженин, 2013). В Красноярске выявлен вытянутый ореол аэротехногенного пылевого загрязнения вдоль долины р. Енисей (Мирошников и др., 2003).

*Республика Хакасия* представляет крупный горнорудный район, богатый твердыми полезными ископаемыми, добыча которых формирует техногенную нагрузку на территорию и техногенные ландшафты. Одно из крупнейших месторождений по добыче и обогащению медных и молибденовых руд является *Сорский горно-обоганительный комбинат*, который является градообразующим предприятием в г. *Сорск*. Месторождение представляет штокверковый тип, имеет гидротермальное и средне-высокотемпературное происхождение, которое сформировано из-за прерывистого стадийного развития рудного процесса. Главными рудными минералами являются молибденит, халькопирит и галенит. Добыча руды ведется на карьере, глубиной 320 м (западный борт) и 140 м (восточный борт). В результате добычи образованы отвалы вскрышных пород, которые уже достигли границ города. Обогащение руды осуществляется на горно-обогательном комбинате (ферромолибденовый завод), в результате обогащения образуются «хвосты», транспортируемые по пульпопроводу на хвостохранилище. Загрязнение атмосферного воздуха пылегазовыми выбросами происходит во время буровзрывных работ на карьере, работе ТЭЦ, ГОК и пылении с поверхности отвалов и хвостохранилища, а также при погрузо-разгрузочных работах и транспортировке материала (Путеводитель..., 2012).

Результаты исследования жидкой фазы снегового покрова в рамках производственного горно-экологического мониторинга на территории ГОК показали щелочную среду, отсутствие превышения ряда тяжелых металлов над ПДК и фоном (отчеты предприятия). Нами определена геохимическая специализация почв на Mo, Mn, Cu, Cd, W, Pb, Ni относительно фона, формирующаяся как за счет природных геологических факторов, так и аэротехногенного загрязнения от основных объектов на территории ГОК (Белошейкина и др., 2020).

В районах верхней и средней частей бассейна р. Обь значительная доля загрязнения приходится на предприятия *Республики Казахстан* – г. Усть-Каменогорск, Павлодар и др.

*В г. Павлодар*, расположенный в северо-восточной части Республики Казахстан, функционирует крупный нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), входящий в состав северного промышленного узла города. В перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых НПЗ входят фенол, диоксид серы, пыль коксовая, катализаторная и абразивная, фтористый водород, соединения олово, хрома, марганца, свинца, натрия гидроксид (Носенко и др., 2018).

В зоне северного промышленного узла Павлодара выявлена геохимическая специализация твердого осадка снегового покрова и снеговой воды на Sr, Zn, Cu, Pb, Ni, V, Cr, Co, Be, Mo, Hg, отражающие воздействие функционирующих производств. В твердом осадке снегового покрова выделены геохимические ассоциации Cd-Be, Cd-Mn, Zn-Be (Ажаев, 2007). В Павлодаре максимальные содержания Hg, Ba, Sb, Zn, Cr установлены в волосах детей, проживающих вблизи северного промышленного узла (Корогод, 2010). По результатам исследования золы листьев тополя в определено, что воздействие предприятий нефтехимической и химической промышленности обуславливает поступление Zn, Co, Sb, Rb, а предприятий угольной теплоэнергетики и металлообработки – Cr, Zn, Sb, Co (Шаймарданова и др., 2010). Особенности химического состава аэрозольных примесей в шлейфах выбросов предприятий Павлодара (алюминиевый завод, НПЗ, ТЭЦ и ГРЭС, использующие экибастузские угли) является высокая концентрация зольной фракции, содержащей Si, Ca, Al, Mg, Zn, а также водорастворимых фракций ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ) (Симоненков, 2015).

*В северной части г. Усть-Каменогорск*, который является крупным промышленным центром Республики Казахстан, расположены Ульбинский металлургический завод (УМЗ), специализирующийся на выпуске Be, Ta, таблеток из низкообогащенного урана, закиси-окиси и тетра-фторида урана, Казцинк (СЦК), производящий цинк, медь, драгоценные металлы и свинец, а также ТЭЦ. Эти предприятия образуют северную промышленную зону в городе. На территории города сформирована Восточно-Казахстанская техногенная биогеохимическая провинция, обусловленная воздействием предприятий цветной металлургии (Демченко и Шугрин, 1992). При составлении экологического паспорта Усть-Каменогорска было выявлено, что наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха от УМЗ вносят такие загрязняющие вещества как фтористый водород (77,7%), оксиды азота (9,2%), аммиак (5,8%), бериллий (3,0%) и сернистый ангидрид (1,1%). Зона очень высокого загрязнения снегового покрова, охватывает не только промзону, но и прилегающие к ней жилые районы (Отчет..., 2005).

В пробах твердого осадка снегового покрова районе шламонакопителя УМЗ уровни накопления ряда элементов (Sb, Ag, Ta, U, Ce, Sc, Co, Fe, Au) превышают фон от 4 до 50 раз, что формирует высокий уровень загрязнения ( $Z_c=205$ ) (Язиков, 2006). Биогеохимические исследования на территории Усть-Каменогорска выявили высокие уровни содержания Zn, Ag, Au, Sb в листе тополя в районе Казцинк, а Ta, Be, U – в районе УМЗ (Ялалтдинова, 2015).



В Республике Казахстан к городам с высоким уровнем загрязнения воздуха отнесен г. *Караганда* (по данным Казгидромет), являющийся центром Карагандинского угледобывающего бассейна и расположенный в Центральном Казахстане. Основными источниками загрязнения являются предприятия горнодобывающей отрасли и ТЭЦ, где используется высокозольный экибастузский уголь, а также мазут как растопочное топливо. В 2015-2016 гг. уровень загрязнения воздуха в городе был наиболее высоким за счет высоких концентраций взвешенных веществ (твердых частиц) (1,8–25,6 долей ПДК<sub>м.р</sub>). Концентрации твердых частиц PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub> превышали ПДК<sub>м.р</sub> от 7,9 до 20 раз. В составе дождевых вод и снеговой воды обнаружены превышения содержания кадмия относительно ПДК (2,5-3,7 раз), а для других тяжелых металлов превышения не выявлены. Определена слабощелочная среда выпавшего снега (рН=5,45–6,47), а кислая среда (рН=5,45–6,47) характерна для дождевой воды (Гребенева и др., 2018).

*Таким образом, на юге Сибири функционируют мощные промышленные предприятия различных отраслей производства (топливная, металлургическая, машиностроительная и металлообрабатывающая, химическая, нефтеперерабатывающая, атомная, горнопромышленная, стройиндустрия, теплоэнергетика и др.), выбросы которых оказывают влияние на формирование качества атмосферного воздуха и трансформацию состава снегового покрова на территории городов с различной численностью населения и природно-климатическими условиями.*

### 3. МЕТОДИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 3.1. Методика отбора и подготовки проб снегового покрова

Для изучения атмосферных аэрозолей осуществлялся отбор и подготовка проб снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири (рисунок 3.1.1) по единой методике в соответствии с нормативными документами (руководящий документ 52.04.186-89) и методическими рекомендациями (Назаров и др., 1976; 1978; Методические рекомендации ИМГРЭ..., 1982; 1990; 2006; Василенко и др., 1985; Геохимия..., 1990). Процесс отбора и подготовки проб также выполнялся в соответствии с разработанными научно-методическими подходами проведения снегогеохимических исследований на кафедре геоэкологии и геохимии ТПУ (Язиков и Рихванов, 1996; Язиков, 2001; 2006; Шатилов, 2001). Отбор, подготовка и анализ проб осуществлялись как лично автором, так и совместно со студентами, аспирантами и соискателями кафедры геоэкологии и геохимии (в н.в. отделение геологии) ТПУ, которые занимались научно-исследовательской деятельностью под руководством автора в разные годы.

При личном участии автора сбор основного фактического материала выполнялся на территории юга Сибири (рисунок 3.1.1) – в Томской (Томск, Северск, Асино, Стрежевой, Колпашево, 113 сельских населенных пункта), Кемеровской (Кемерово, Юрга, Междуреченск, Новокузнецк, Киселевск, Топки, Мыски), Омской (г. Омск) и Новосибирской (г. Искитим) областях, а также в Павлодарской (г. Павлодар) и Восточно-Казахстанской (г. Усть-Каменогорск) областях Республики Казахстан, Красноярском крае (Красноярск, Ачинск), Республике Хакасии (Сорск, Черногорск), а также в Центральном Казахстане (г. Караганда, Республика Казахстан).

С разной степенью детализации изучены *21 урбанизированная территория* (16 – на юге Западной Сибири; 5 – на юге Восточной Сибири и в Центральном Казахстане) с различными условиями техногенеза и природно-ландшафтными условиями. На этих территориях отбор проб снегового покрова осуществлялся с использованием площадной и векторной сетей наблюдения (таблица 3.1.1–3.1.7). Площадная снеговая съемка выполнена в масштабе от 1:50000 до 1:100000 на территории *10 городов* – Омск, Томск, Юрга, Междуреченск, Топки, Асино, Колпашево, Стрежевой, Сорск, Караганда. Векторная сеть наблюдений (от 0,5 до 5,5 км от промышленного источника) с учетом главенствующего направления ветра использовалась в зоне воздействия *27 предприятий* различных отраслей производства (теплоэнергетическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая, металлургическая, машиностроительная, угле-, нефте- и горнодобывающая, строительная), расположенных в *18 изучаемых городах* (таблица 3.1.1–3.1.7).

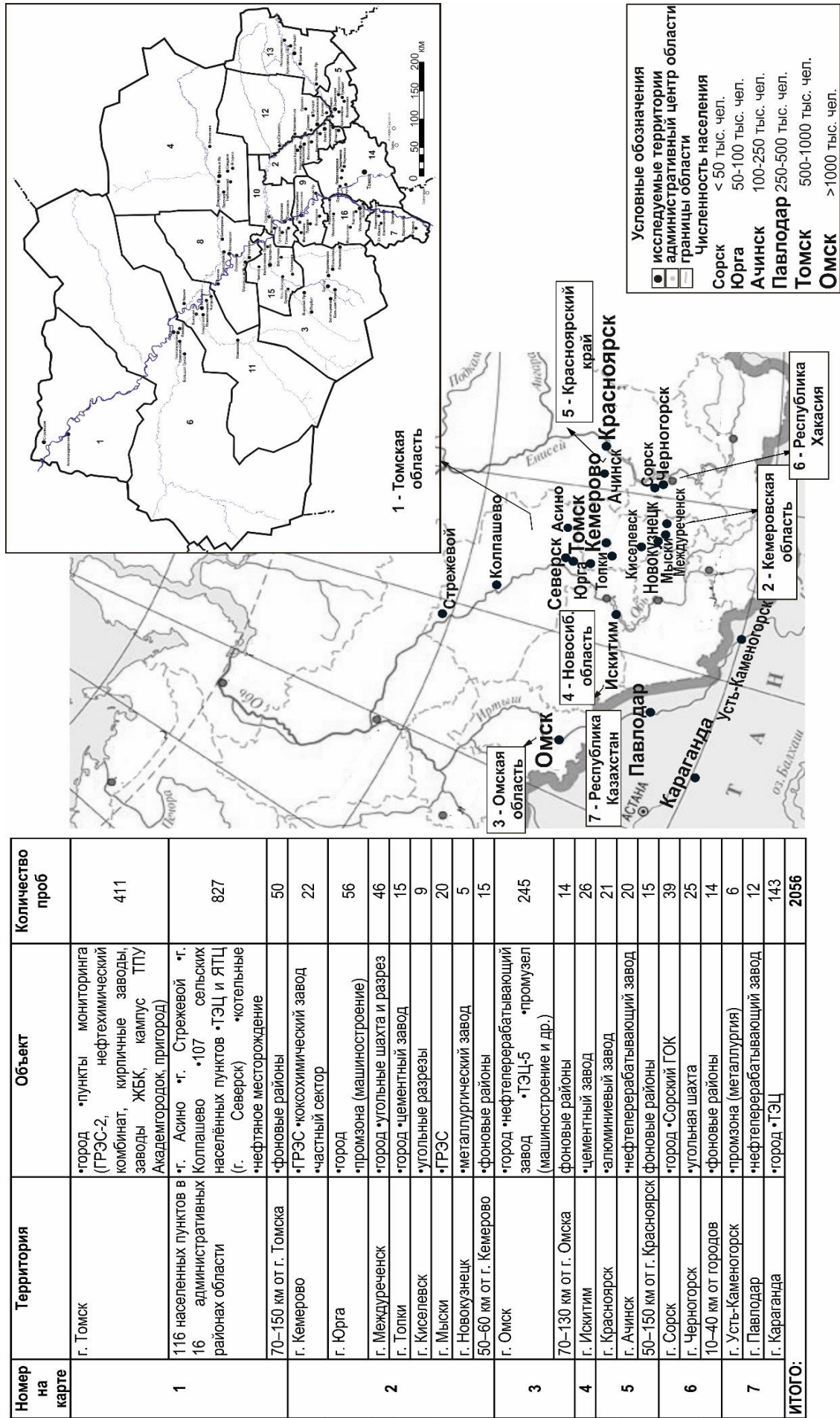


Рисунок 3.1.1. – Схема расположения изучаемых урбанизированных территорий на юге Сибири (Караганда – Центральный Казахстан)

На рисунке 3.1.2 в качестве примера показаны карты-схемы отбора проб с использованием площадной и векторной сетей наблюдения в некоторых изучаемых городах.

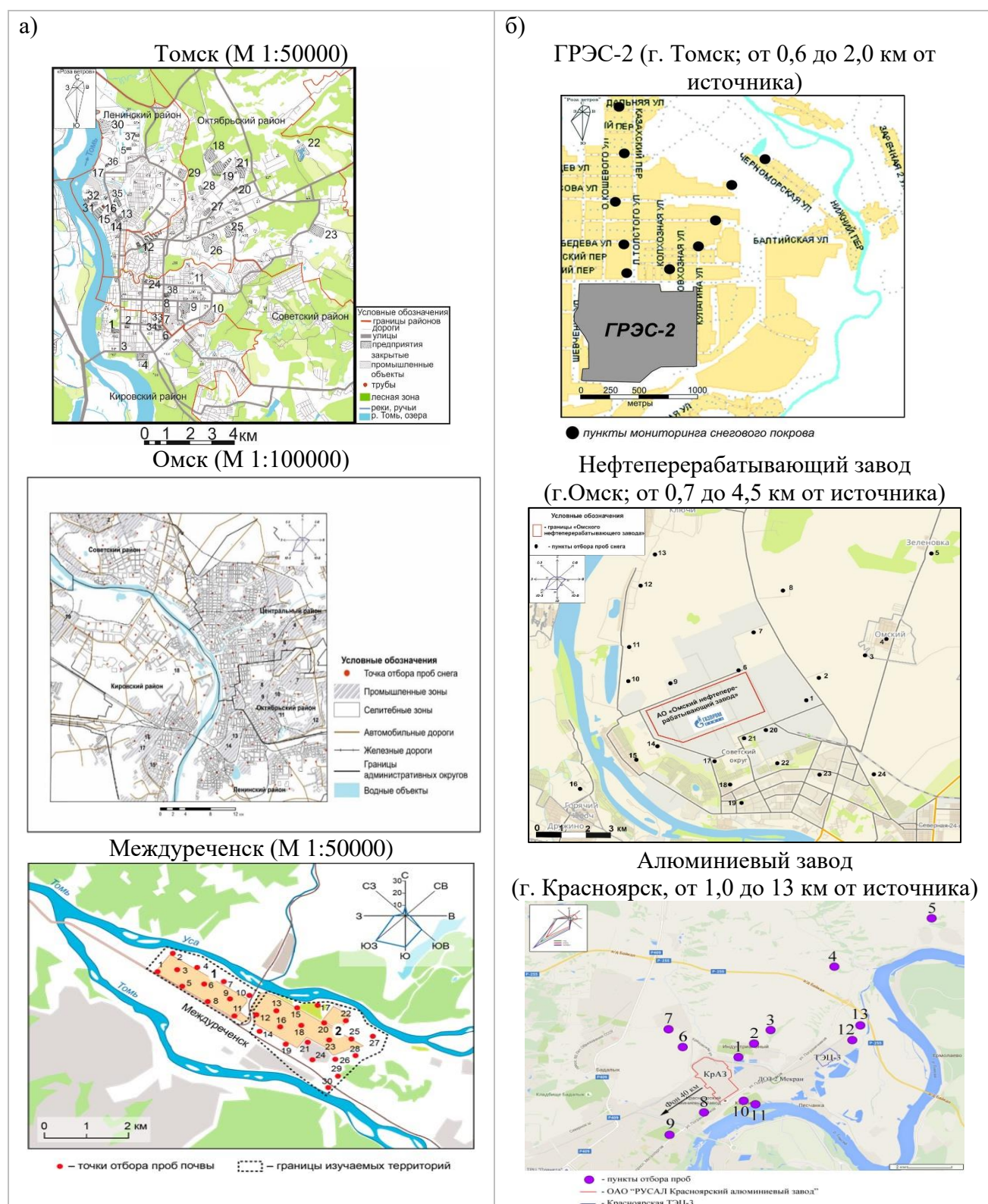


Рисунок 3.1.2. – Карты-схемы отбора проб снегового покрова на некоторых изучаемых урбанизированных территориях юга Сибири (точки черного цвета – пункты отбора проб): а) площадная сеть (цифры – промышленные предприятия); б) векторная сеть (карты-схемы составлены автором совместно со студентами и аспирантами ОГ ИШПР ТПУ)

Таблица 3.1.1 – Объекты и объемы исследования снегового покрова на территории Томской области

Территория	Объект	Год отбора	Сеть наблюдения	Кол-во проб
г. Томск	город	2007	площадная (М 1:50000)	69
		2015		101*
	ГРЭС-2	2005; 2009–2018	векторная (от 0,6 до 2,0 км от источника)	74
	нефтехимический комбинат (НХК)	2009–2016		53
	кирпичные заводы	2009–2015		35
	заводы по производству железобетонных конструкций и бетона (ЖБК)		32	
	кампус ТПУ	2001–2007	точечная	28
	п. Тимирязево, пригород			24
Академгородок	2006–2007	15		
116 населенных пунктов, включая четыре города, расположенных на территории 16 административных районов области	г. Асино	2011	площадная	11
	г. Колпашево	2012		10
	г. Стрежевой	2014		19
	г. Северск (ТЭЦ и ЯТЦ)	2014–2015	векторная (от 0,5 до 2,9 км)	14
	107 сельских населённых пунктов, в т.ч.:	2006, 2011–2014	точечная (метод конверта)	672, в т.ч.:
	10 населенных пунктов в Томском районе в зоне воздействия ЯТЦ г. Северска	2006		100
		2011; 2013		56
	местные котельные, использующие различные типы топлива, в 5 населенных пунктах:	2016–2017	векторная (от 50 до 250 м)	74, в т.ч.:
	на угле	2016–2017		25
	на природном газе			26
на древесине	2016	12		
на нефти		11		
нефтяное месторождение	нефтяное месторождение	2014; 2017	точечная, векторная	27
70–150 км от г. Томск (фоновые районы)	заказник «Томский»	2006	точечная	7
	Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН	2006–2007; 2013	(метод конверта)	43
Итого:				1288

\* – включено количество проб из районов расположения пунктов мониторинга в 2015 г. (ГРЭС-2, кирпичные заводы, заводы по производству железобетонных конструкций (ЖБК)), ЯТЦ – ядерно-топливный цикл

Таблица 3.1.2. – Объекты и объемы исследования снегового покрова на территории Кемеровской области

Территория	Объект	Год отбора	Сеть наблюдения	Кол-во проб
г. Кемерово	ГРЭС	2016	векторная (от 0,6 до 3,9 км)	9
	коксохимический завод			6
	частный сектор		точечная (метод конверта)	7
г. Юрга	город	2016	площадная (М 1:50000)	47*
	промзона (машиностроение, ферросплавное производство)	2012, 2016	точечная (метод конверта)	17
г. Междуреченск	город	2015	площадная (М 1:50000)	32
	угольные шахта и разрез	2016	векторная	14
г. Топки	территория города	2016	площадная	6
	цементный завод		векторная (от 0,6 до 2,3 км)	9
г. Киселевск	угольные разрезы	2007; 2019	векторная (от 0,3 до 2,5 км)	9
г. Мыски	ГРЭС	2018	векторная (от 0,5 до 3,0 км)	20
г. Новокузнецк	металлургический завод	2019	векторная (от 0,5 до 8,5 км)	5
50–60 км от г. Кемерово	фоновые районы	2016	точечная (метод конверта)	15
Итого:				188

\* – включено количество проб в окрестностях промзоны в 2016 г.

Таблица 3.1.3. – Объекты и объемы исследования снегового покрова на территории Омской области

Территория	Объект	Год отбора	Сеть наблюдения	Кол-во проб
г. Омск	город	2013	площадная (1:100000)	168*
		2015	точечная (около стационарных постов Росгидромета)	11
	нефтеперерабатывающий завод	2013–2016	векторная (от 0,7 до 4,5 км)	46
	ТЭЦ-5	2013–2014	векторная (от 0,5 до 4,5 км)	18
	промузел (машиностроение, металлообработка, химические и др.)		площадная (М 1:50000)	35
70–130 км от г. Омск	фоновые районы	2013–2015	точечная (метод конверта)	14
Итого:				259

\* – включено количество проб в окрестностях изучаемых предприятий в 2013 г.

Таблица 3.1.4. – Объекты и объемы исследования снегового покрова на территории Новосибирской области

Территория	Объект	Год отбора	Сеть наблюдения	Кол-во проб
г. Искитим	цементный завод	2014	векторная (от 0,5 до 2,8 км)	10
		2019		16
Итого:				26

Таблица 3.1.5. – Объекты и объемы исследования снегового покрова на территории Красноярского края

Территория	Объект	Год отбора	Сеть наблюдения	Кол-во проб
г. Красноярск	алюминиевый завод	2013–2014	векторная (от 1,0 до 13 км)	21
г. Ачинск	нефтеперерабатывающий завод	2016	векторная (от 0,5 до 8,0 км)	20
50–150 км от г. Красноярск	фоновые районы	2014; 2016	точечная (метод конверта)	15
Итого:				56

Таблица 3.1.6. – Объекты и объемы исследования снегового покрова на территории Республики Хакасия

Территория	Объект	Год отбора	Сеть наблюдения	Кол-во проб
г. Сорск	город	2016	площадная	12
	Сорский ГОК	2016–2017	векторная (от 0,25 до 1,0 км от СЗЗ)	27
	10 км от города (фоновый район)		точечная	9
г. Черногорск	угольная шахта	2008	векторная, точечная	25
	40 км от города (фоновый район)		точечная (метод конверта)	5
Итого:				58

Таблица 3.1.7. – Объекты и объемы исследования снегового покрова на территории Республики Казахстан

Территория	Объект	Год отбора	Сеть наблюдения	Кол-во проб
г. Усть-Каменогорск	промзона (металлургические заводы)	2012	векторная	6
г. Павлодар	нефтеперерабатывающий завод	2014–2015	векторная (от 0,5 до 3,0 км)	12
г. Караганда	город	2016	площадная (М 1:50000)	79
	ТЭЦ	2014–2016	векторная (от 0,4 до 4,5 км)	64
Итого:				161

На территории изучаемых регионов осуществлялся отбор проб снегового покрова в фоновых районах, используя точечную сеть наблюдения. На территории Томской области отбор проб снегового покрова также проводился в *113 сельских населённых пунктах и в зонах воздействия котельных* (от 50 до 250 м), использующие различные виды топлива (уголь, природный газ, древесина, нефть) и расположенные в сельских населенных пунктах. На территории каждого сельского населенного пункта отбирали от 5 до 12 проб с использованием точечной сети наблюдений (методом конверта).

Масштаб *площадной сети* наблюдения на территории города составлял 1:50000 и 1:100000 в зависимости от площади изучаемого города. Для выявления пространственного распределения промышленных выбросов и очагов загрязнения, связанных с предприятиями на территории города отбор проб снегового покрова осуществлялся по близкой к равномерной сети. Сеть опробования сгущалась в местах расположения промышленных источников загрязнения, а также разряжалась в районах, где источники загрязнения отсутствовали. Площадная сеть отбора проб снегового покрова используется при эколого-геохимическом картографировании городских территорий многими исследователями в соответствии с методическими рекомендациями ИМГРЭ (1982 г.) и методическими рекомендациями, утвержденные главным гос.санитарным врачом СССР (1990 г.).

*Векторная сеть* представляла маршрутный отбор снеговых проб в зоне воздействия промышленного предприятия согласно главенствующему направлению ветра с подветренной стороны, либо с наветренной и подветренной стороны, а также в крест главенствующему направлению ветра. Расстояние между пунктами отбора изменялось от 10 до 40 эффективных высот организованного источника выбросов (трубы, факел и т.п.) в городе, от 5 до 12 эффективных высот труб котельных в сельских населённых пунктах, с учетом особенностей размещения жилой застройки и рельефа местности. Такая сеть наблюдения используется для подфакельных постов наблюдения согласно руководству по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186-89). В случае оценки площадного источника загрязнения векторная сеть закладывалась на расстояниях от границ промплощадки или санитарно-защитной зоны предприятия с шагом 500–1000 м. Векторная сеть является менее временно-трудозатратой, а также более экономически эффективной для мониторинга загрязнения территории.

При *точечной сети наблюдений* пункты отбора проб располагались по принципу метода «конверта» на территории исследования (сельские населенные пункты, жилые районы в городах, фоновые районы).

При размещении пунктов отбора проб снегового покрова с применением вышеуказанных трех сетей наблюдения учитывались также опубликованные результаты



ранее проведенных эколого-геохимических исследований компонентов природной среды на изучаемых территориях разными исследователями. Во избежание влияния выхлопов автотранспорта на загрязнение снегового покрова, точки отбора проб располагали на расстоянии не менее 20–25 м от края проезжей части магистралей. Проводилась координатная привязка пунктов отбора проб.

*Отбор проб снегового покрова* проводится в период максимального влагозапаса и до периода интенсивного снеготаяния, зависящие от климатических условий изучаемой территории. В климатических условиях Западной Сибири этот период соответствует концу февраля – началу марта, а Восточной Сибири – начало февраля.

Отбор проб осуществляли из шурфов на всю глубину снегового покрова, за исключением 5-10 см слоя над почвой, чтобы не произошло загрязнение проб почвенной составляющей. Проба, отобранная на всю толщину снегового покрова, дает представительные данные о средневзвешенной величине загрязнения, усредненную естественным путем за период со времени снегостава до момента отбора проб.

После отбора каждой пробы в пунктах наблюдения производился замер сторон и глубины шурфа, фиксировалось время в сутках от даты снегостава до даты отбора пробы. Характерной особенностью данной работы является то, что *вес каждой пробы снегового покрова* для получения массы нерастворимого осадка, необходимой для выполнения аналитических исследований, составлял *не менее 17 кг*, а в отдельных случаях *и 150 кг*.

*Процесс подготовки проб снегового покрова* начинался с топления снега в пластмассовой таре при комнатной температуре (рисунок 3.1.3). Процесс таяния снега происходил в течение суток. В результате для каждой пробы получалось не менее 17 л снеговой воды. Далее проводили декантацию верхней части («чистой» воды) отстоянной снеговой воды с помощью полиэтиленовой трубочки (1 мм в диаметре), не касаясь дна и стенок тары. Аликвота этой воды (1,5–2 л) отбиралась для анализа на химический состав, определения физико-химических и гидрогеохимических показателей снеговой воды. Затем проводилась фильтрация оставшейся в таре части снеговой воды через беззольный фильтр типа «синяя лента» для выделения нерастворимого осадка снегового покрова. Далее выполняли высушивание фильтра с осадком при комнатной температуре, потом просеивание осадка для получения фракции менее 1 мм, а после взвешивали фильтр с просеянным осадком. Полученный нерастворимый осадок снегового покрова не озоляли в муфельных печах, как это предложено в работах Ю.Е. Саета с соавторами (Методические..., 1982; Геохимия..., 1990).

В результате отбора и подготовки проб снегового покрова предметом исследования являлся *нерастворимый (твердый) осадок снегового покрова*, который формируется

аэрозольными частицами, осевшими в снеговой покров в результате процессов сухого и влажного осаждения. В отдельных случаях проводилось изучение снеговой воды. Поскольку в выбросах предприятий преобладают твердые частицы, то большое индикационное значение для определения особенностей состава аэрозольных частиц на изучаемых территориях имеет исследование нерастворимого осадка снегового покрова.

Всего отобрано и подготовлено **2056 проб** снегового покрова (*суммарным весом ~ 35 тыс. кг снега*) на территориях юга Сибири (при личном участии автором – 60% проб).

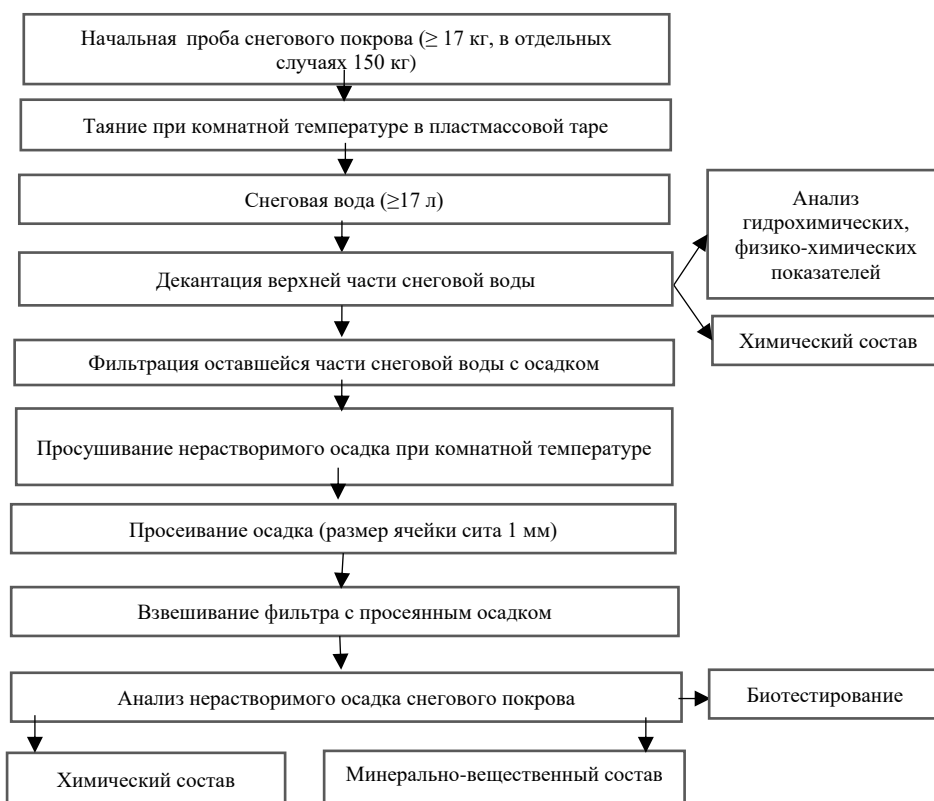


Рисунок 3.1.3. – Схема подготовки проб снегового покрова к аналитическим методам исследования

Проводили отбор образцов промышленной пыли и исходного сырья с некоторых предприятий для анализа их состава для сопоставления с полученными данными по составу нерастворимого осадка снега. Всего отобрано 10 образцов промышленной пыли (зола уноса и шлак на ГРЭС, ТЭЦ, котельных; пыль с цехов и электрофильтров предприятий строительной промышленности) и 14 образцов сырья (уголь, глина, известняк и др.).

### 3.2. Аналитические методы исследования состава проб

Исследования химического и минерально-вещественного состава проб нерастворимого осадка снегового покрова, отдельных проб снеговой воды, промышленной пыли и сырья проводили с применением единообразного комплекса современных высокочувствительных аналитических методов по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения (таблица 3.2.1).

Таблица 3.2.1. – Аналитические методы исследования состава проб снегового покрова, промышленной пыли и сырья

Центр, организация	Метод анализа проб	Количество проб			
		Нерастворимый осадок снегового покрова	Промышленная пыль (сырье)	Снеговая вода	
Международный инновационный научно-образовательный центр «Урановая геология», Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск)	Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА)	1831	10 (14)	–	
	Метод f-рентгенографии	25	–	–	
	Атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС)	1343	10 (14)	24	
	Шлиховой метод	987	–	–	
	Порошковая рентгеновская дифрактометрия	на дифрактометре Bruker D2 PHASER	72	7	–
		на дифрактометре ДРОН-3М	15	–	–
Сканирующая электронная микроскопия	74 (1580 частиц)	3 (45 частиц)	–		
Химико-аналитический центр (ХАЦ) «Плазма» (г. Томск)	Масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой (ИСМ-МС)	300	9	24	
НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии», Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск)	Метод лазерной дифракции	5	–	–	
Научно-образовательный центр «Вода», Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск)	Ионная хроматография ( $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ )	–	–	24	
	Титриметрия ( $\text{CO}_3$ , $\text{HCO}_3^-$ , ок. перм.)	–	–	24	
	Потенциометрия ( $\text{F}^-$ , pH)	–	–	24	
	Кондуктометрия (Еh)	–	–	24	
	Расчетный (общая жесткость)	–	–	24	
Университет Карлсруэ (г. Карлсруэ, Германия)	Рентгеновская дифрактометрия	11	–	–	
	Сканирующая электронная микроскопия	12 (123 частицы)	–	–	
	Масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой	4	–	–	

Таблица 3.2.1. (Окончание)

Центр, организация	Метод анализа проб	Количество проб		
		Нерастворимый осадок снегового покрова	Промышленная пыль (сырье)	Снеговая вода
Центр радиэкологии окружающей среды, Норвежский университет наук о жизни (г. Ос, Норвегия)	Масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой (изотопы урана $U^{235}$ , $U^{238}$ )	6	1	–
НОЦ «Нанотехнологии», Дальневосточный Федеральный университет (г. Владивосток)	Метод лазерной дифракции	4	–	8
ИЛИП «КОРМС», Карагандинский государственный технический университет (Республика Казахстан, г. Казахстан)	Сканирующая электронная микроскопия	3 (26 частиц)	–	–
Сибирский государственный медицинский университет (г. Томск)	Биотестирование на <i>Drosophila melanogaster</i>	30 (67235 дрозофил)	–	–
ОАО «Томскгеомониторинг» (г. Томск)	Биотестирование на <i>Paramecium caudatum</i>	20	–	–

Достоверность аналитических результатов контролировалась данными внутреннего и внешнего контроля, а также параллельными определениями разными методами. Исследования проб выполняли в аккредитованных лабораториях Томска, Владивостока, Карлсруэ (Германия), Ос (Норвегия), Караганды (Республика Казахстан).

**I. Международный инновационный научно-образовательный центр (МИНОЦ) «Урановая геология», кафедра геоэкологии и геохимии (в н.в. отделение геологии) Национального исследовательского Томского политехнического университета.**

1. *Ядерно-геохимическая лаборатория на базе учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511901 и № РОСС RU.0001.518623; аналитики: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская).*

*1.1. Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА).*

Значительная часть определений количественного содержания 28 химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова (1831 проба; 10 образцов промышленной пыли; 14 проб сырья) выполнена ИНАА (таблица 3.2.1).

С помощью ИНАА определено содержание таких химических элементов как редкие (Cs, Hf, Rb, Sc, Ta), редкоземельные (La, Ce, Eu, Lu, Yb, Sm, Tb, Nd), радиоактивные (U, Th), тяжелые металлы и металлоиды (As, Cr, Sr, Ba, Co, Zn, Sb), благородные металлы (Au, Ag), макроэлементы (Ca, Na, Fe) и Br.

В лаборатории метод ИНАА выполняется в соответствии с инструкцией НСАМ ВИМС № 410-ЯФ. В вертикальном канале на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т при ТПУ осуществляли облучение тепловыми нейтронами с интегральной дозой  $2 \cdot 10^{17}$ – $1,5 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup>. Одновременно с исследуемыми пробами в тех же условиях облучали и стандартные образцы. Определение содержаний химических элементов производилось путём сравнения интенсивностей излучения проб и стандартных образцов в выбранных энергетических интервалах спектрометра. После спада наведенной активности в пробах через некоторое время выполняли анализ содержания химических элементов на многоканальном анализаторе импульсов – гамма спектрометре с германий-литиевым детектором. Погрешность метода ИНАА составляет 5–15% (Судыко, 2016). Пределы обнаружения химических элементов в объектах природной среды представлены в таблице 3.2.2. Содержание Ag в большинстве проб находилось на уровне ниже предела обнаружения, поэтому эти данные не учитывали в дальнейшей обработке результатов.

Удовлетворительная сходимость данных внутреннего контроля свидетельствует о высоком качестве выполнения ИНАА в лаборатории ТПУ в разные периоды проведения измерений в одних и тех же пробах (рисунок 3.2.1).

Таблица 3.2.2. – Пределы обнаружения содержания химических элементов в объектах природной среды (нерастворимый осадок снегового покрова, почва и др.), определяемые методом ИНАА (Эколого-геохимические ..., 2006)

Элемент	Предел обнаружения, мг/кг	Элемент	Предел обнаружения, мг/кг
Na	20	Ta	0,05
Ca	300	Sc	0,02
Fe	100	Tb	0,05
As	1,0	Sm	0,01
Co	0,1	Eu	0,01
Cr	0,2	La	0,03
Sb	0,2	Ce	0,05
Ba	8,0	Yb	0,1
Zn	2,0	Nd	1,0
Br	0,3	Lu	0,01
Rb	0,6	U	0,1
Cs	0,3	Th	0,2
Sr	7,0	Au	0,01
Hf	0,01	Ag	0,5

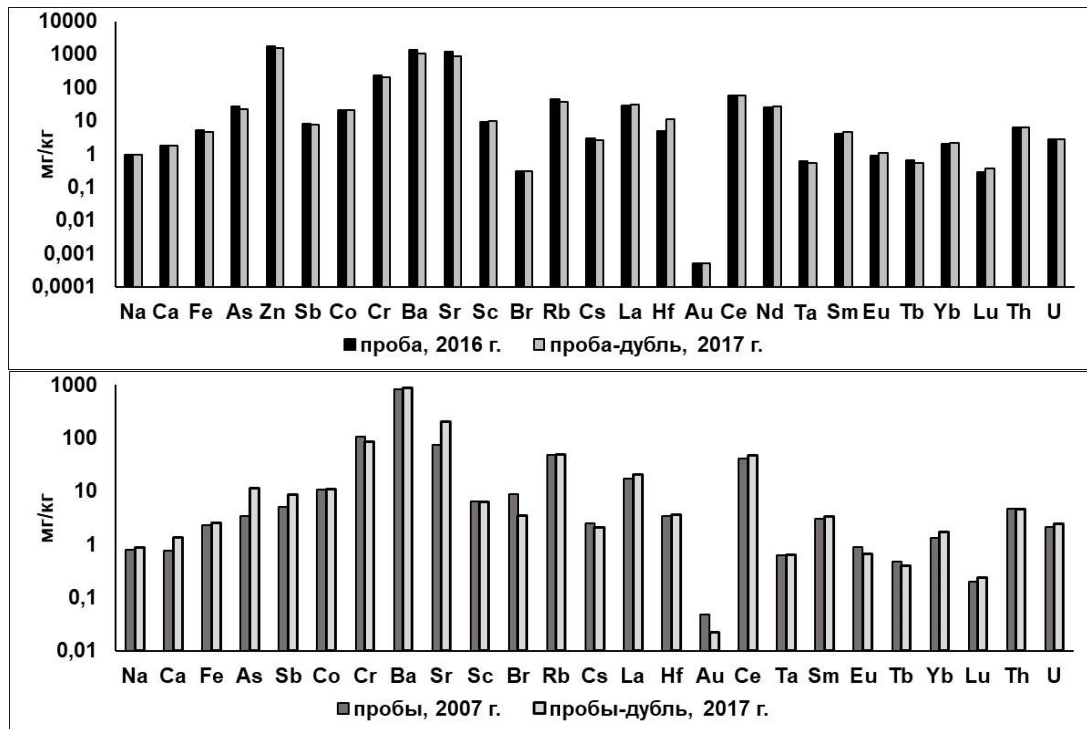


Рисунок 3.2.1. – Внутренний контроль измерений содержаний химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова методом ИНАА (пробы г. Томск)

### 1.2. Метод f-радиографии.

Для изучения форм нахождения и особенностей распределения урана и трансурановых элементов в нерастворимом осадке снегового покрова использовали метод f-радиографии, который осуществляли на ядерном реакторе ИРТ-Т при Томском политехническом университете. С помощью метода f-радиографии автором совместно с профессором ТПУ Е.Г. Языковым разработан оригинальный способ определения загрязненности снегового покрова делящимися радиоактивными компонентами и характера их распределения в нерастворимом

осадке снежного покрова. Этот способ позволяет выделять загрязненные участки и источники радиоактивного загрязнения, а также масштабы их воздействия на населенные пункты. Эти результаты позволили получить нам патент на изобретение «Способ определения загрязненности снежного покрова радиоактивными компонентами» (патент № 2453869, 2012 г., авторы: Язиков Е.Г., Таловская А.В., Судыко А.В., Филимоненко Е.А.) с элементами ноу-хау.

Для получения необходимого веса нерастворимого осадка снежного покрова для выполнения метода f-радиографии нами осуществлялся отбор проб снежного покрова массой не менее 150 кг в каждом пункте наблюдений. В процессе работы нами разработана специальная схема подготовки нерастворимого осадка снежного покрова для получения пробы в виде брикета с целью выполнения метода f-радиографии (рисунок 3.2.2).

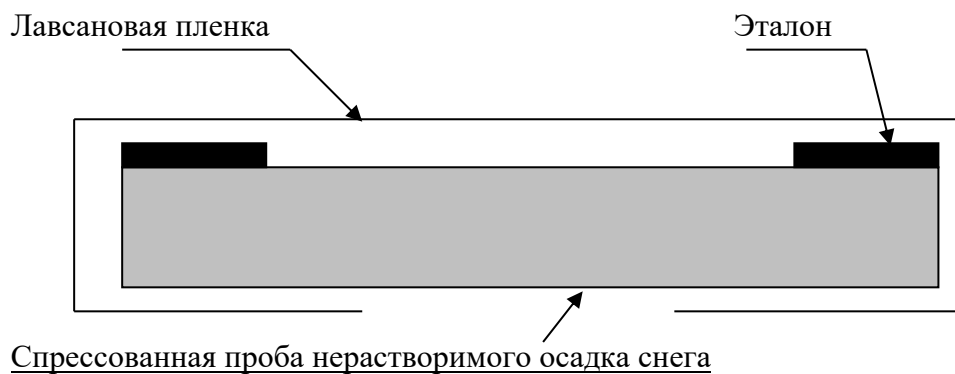


Рисунок 3.2.2 – Схематическое изображение образца пробы нерастворимого осадка снежного покрова в виде брикета для метода f-радиографии

В качестве эталона, наносимого на края пробы-брикета, использовали силикатный клей, в который было добавлено известное количество водного раствора нитрат-уранила (Сарнаев, Рихванов, 1991). На каждый приготовленный брикет сверху наклеивали детектор из лавсановой пленки.

Все пробы-брикеты облучали в канале ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ тепловыми нейтронами (плотность потока  $10^{12}$ – $10^{16}$  н/см<sup>2</sup>). Затем пробы-брикеты вынимали из реактора и после спада наведенной радиоактивности, снимали детекторы и проводили химическое травление каждого детектора в 40 % растворе КОН при температуре 60<sup>0</sup>С в течение 20–30 мин, используя термоплитку для поддержания необходимой температуры согласно методике (Флеров, Берзина, 1979). Затем под микроскопом «Полам 213-М» с цифровым фотоаппаратом при 90- и 200-кратном увеличении в каждом детекторе выявляли характер распределения и подсчитывали число треков на единицу площади единичных и «звёздочных» скоплений, а также скоплений треков в виде отдельных сгустков.

Для получения достоверных результатов подсчет единичных треков и треков в виде «звезд» от «сгустков» от осколков деления радионуклидов хаотичного распределения производили в 30

участках образца и в шести участках эталона. По результатам подсчета высчитывалась плотность треков хаотичного распределения, «звёздочных» скоплений и «сгустков треков» на 1 мм<sup>2</sup>.

Всего методом f-радиографии при личном участии автора изучено 25 проб нерастворимого осадка снегового покрова:

- окрестности промышленных предприятий г. Томска (ГРЭС-2, Сибэлектромотор);
- жилые районы г. Томска (микрорайон «Солнечный», кампус ТПУ, Академгородок);
- северо-восточная зона воздействия Томск–Северской агломерации (сс. Самусь, Петропавловка, Георгиевка, Наумовка, Светлый; оз. Черное, полигон 2);
- юго-западная зона воздействия Томск–Северской агломерации (сс. Поросино, Тимирязево, Чернышевка, Березкино, Зоркальцево, полигон 1);
- фоновые районы (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН, с. Победа);
- жилые районы в гг. Стрежевой, Междуреченск, Рубцовск.

2. Учебно-научная лаборатория микроэлементного анализа (консультанты и аналитики: к.х.н., доцент ОГ ТПУ Н.А. Осипова, к.г.-м.н., с.н.с. ИМКЭС СО РАН Е.Е.Ляпина, к.г.-м.н., ст. преподаватель ОГ Е.А. Филимоненко).

Атомно-абсорбционную спектрометрию (ААСМ) применяли для определения содержания ртути в 1343 пробах нерастворимого осадка снегового покрова, 10 образцах промышленной пыли, 14 образцах сырья, 24 пробах снеговой воды.

Измерения ртути в пробах выполняли на ртутном анализаторе «РА-915+ » (Люмэкс, Россия) с приставками «ПИРО-915+ » и РП-91 , а также ПО «РА915Р ».

Пробы нерастворимого осадка снегового покрова, а также образцы промышленной пыли и сырья анализировали с использованием пиролитической приставки «ПИРО-915+» в соответствии с аттестованными методиками (ПНД Ф 16.1:2.23-2000; М 03-05-2005). В пиролизаторе приставки в пробах происходила атомизация ртутьсодержащих веществ при температуре 850°С. Для расчетов содержания ртути использовали стандартный образец (сертификат утверждения типа № 3095) с заданным содержанием ртути (0,29 мг/кг; ГСО 2500-83). В каждой пробе осуществляли измерение ртути в 2–3 навесках, массой каждая 30–50 мг. Результирующей величиной содержания ртути в пробах являлось среднеарифметическое значение по 2–3 измерениям.

Содержание ртути в законсервированных пробах снеговой воды определяли с помощью приставки РП-91 (метод «холодного пара») в соответствии с нормативной методикой (ПНД Ф 14.1:2:4.243-07).

Предел обнаружения ртути в нерастворимом осадке снегового покрова составил 0,005 мг/кг, а в снеговой воде – 0,005 мкг/дм<sup>3</sup>.



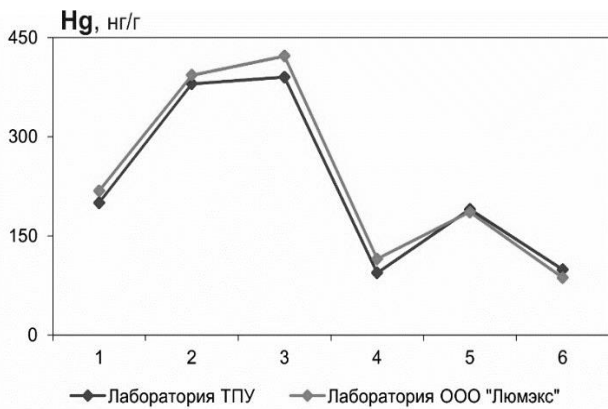


Рисунок 3.2.3. – Внешний контроль измерений концентрации Hg в нерастворимом осадке снегового покрова (Филимоненко, 2015)

Погрешность измерения находилась в пределах 20–25% при доверительной вероятности  $P=0,95$  и диапазоне измерений массовой доли общей ртути от 100 до 10000 мкг/кг.

Выполненный внешний контроль содержания ртути в нерастворимом осадке снега в лаборатории группы компаний «Люмэкс» (г. Санкт-Петербург) показал, что полученные данные характеризуются высокой сходимостью результатов анализов (рисунок 3.2.3).

### 3. Учебно-научная лаборатория электронно-оптической диагностики.

#### 3.1. Микроскопический метод (шлиховой метод).

Исследование минерально-вещественного состава проб нерастворимого осадка снегового покрова проводили при помощи бинокулярного стереоскопического микроскопа марки МБС-9 или Leica ZN 4D с видео приставкой.

Всего изучено 987 проб нерастворимого осадка снегового покрова на изучаемых урбанизированных и сельских территориях при личном участии автора.

В пробах выявляли микроскопические типы природных и техногенных частиц. На основе наших многолетних исследований составлена эталонная коллекция возможных видов природных (минеральные: кварц, полевые шпаты, глинистые минералы, слюды, карбонаты и др.; растительные остатки) и техногенных (алюмосиликатные микросферулы, металлические микросферулы, угольная пыль, угольные недожженные частицы, шлак, частицы краски, опилки, кирпичная крошка, цементная пыль и др.) частиц в нерастворимом осадке снегового покрова. Описание этой коллекции представлено в кандидатской (Шатилов, 2001;) и докторской диссертациях (Язиков, 2006), кандидатской диссертации автора (Таловская, 2008), коллективных монографии (Язиков, Таловская, Жорняк, 2010) и учебном пособии (Язиков, Таловская, Жорняк, 2011).

После этапа определения типов частиц в пробе, методом сравнения с эталонной палеткой определяли процентное содержание каждого типа частицы, а затем процентное соотношение группы природных и техногенных частиц, таким образом, чтобы содержание всех выявленных частиц в сумме составляло 100%.

На этой основе с помощью картографирования выделяют загрязненные участки территории по распределению техногенных и природных частиц в нерастворимом осадке снегового покрова с целью определения источников загрязнения и специфику их техногенного воздействия. Эти результаты позволили получить на патент на изобретения «Способ определения загрязненности

снегового покрова техногенными компонентами» (патент № 2229737, 2004 г.; авторы: Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю., Таловская А.В.). Запатентованная методика также была применена для анализа нерастворимого осадка снежного покрова на изучаемых территориях.

При фракционировании некоторых проб были получены три фракции: магнитная, электромагнитная и немагнитная. Магнитную сепарацию производили с помощью магнита Сочнева, а электромагнитную – электромагнита. Оставшееся в пробе после магнитной и электромагнитной сепараций представляло немагнитную фракцию. Определяли процентное соотношение этих фракций и их минерально-вещественный состав.

*3.2. Порошковая рентгеновская дифрактометрия (консультанты: к.х.н., С.Н. Путилин, к.г.-м.н., ассистент ОГ ТПУ С.С. Ильенок, к.г.-м.н., доцент ОГ Б.Р. Соктоев, к.г.-м.н., ст. преподаватель ОГ Е.А. Филимоненко; аспирант ОГ В.С. Бучельников, зав. лабораторией каф. ГЭГХ ТПУ Г.А. Бабченко).*

Определение кристаллических (минеральных) и аморфных фаз в нерастворимом осадке снежного покрова осуществляли на дифрактометрах ДРОН-3М и Bruker D2 Phaser (Cu-K $\alpha$  излучение; 30 кВ; 10 мА).

Всего изучено 72 пробы и 7 образцов промышленной пыли на дифрактометр Bruker D2 PHASER, а 15 проб – на приборе ДРОН 3М.

Каждую пробу, истертую до состояния пудры в агатовой ступке, навеской 0,5–2 г, помещали в кварцевую кювету и затем шлифовывали. Далее кювету устанавливали на держатель в приборе. Для каждой пробы дифрактограмма автоматически записывалась до часа, время экспозиции составляло 3°(2 $\theta$ )/мин в интервале 3–70° и расстоянии 0.02°(2 $\theta$ ).

Далее анализ рентгеновской дифрактограммы проводили с использованием ПО «Diffraс.Eva », содержащую базы дифрактограмм минералов PDF2 . Процентное содержание выявленных кристаллических фаз в пробах осуществляли в ПО «TOPAS ». Содержание аморфных (некристаллических) фаз определяли пропорцией разностью общей фазы в кристаллических содержаниях. Предел обнаружения анализа составляет 1%.

*3.3. Электронная сканирующая микроскопия (консультанты: к.г.-м.н., ассистент ОГ ТПУ С.С. Ильенок, аспиранты ОГ Д.Г. Усольцев, Е.С. Усольцева, А.П. Зайченко, Л.А. Дорохова, В.С. Бучельников).*

Для исследования характеристик микрочастиц в пробах использовали метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном сканирующем микроскопе S-3400N (фирма Hitachi, Япония) с энергодисперсионной приставкой для микроанализа Bruker XFlash 4010 (фирма Bruker, Германия) с целью проведения рентгеноспектрального анализа. Сканирующий электронный микроскоп имеет высокую разрешающую способность (до 3 нм), что обеспечивает получение высококачественного изображения микрочастиц в пробах.

Небольшую часть пробы равномерно размещали на углеродистый скотч размером 25 мм<sup>2</sup>, либо прессовали пробу в виде «шашки-брикета» с использованием эпоксидной смолы. Подготовленные пробы напыляли тонким слоем углерода для обеспечения электропроводности и предотвращения накопления заряда на поверхности образца. Исследования осуществляли при низком вакууме в режиме обратно-рассеянных электронов при 20 кЭВ, времени накопления энергодисперсионного спектра 30 с и 10 мм расстоянии от образца. Элементный состав каждой частицы определяли с помощью ПО «EDAX Esprit », которая основана на полуколичественном элементном анализе (ошибка – 10–15%).

Каждую микрочастицу фотографировали и регистрировали энергодисперсионный спектр, что позволило для каждой частицы определить морфологические показатели (форма, размер), полуколичественный элементный состав (масс.%) и частоту встречаемости (%; доля от всех изученных микрочастиц).

Всего изучено *1580 частиц в 74 пробах нерастворимого осадка снега*, а также 45 частиц в трех образцах промышленной пыли на сканирующем электронном микроскопе при личном участии автора.

**II. Аналитическая лаборатория Химико-аналитического центра «Плазма», г. Томск (аттестат аккредитации № RA.RU.516895; директор лаборатории: Н.В. Федюнина, аналитики: инженер-исследователь Т.А. Филипас, А.Н. Маковенко).**

Использовали *метод анализа масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой (ICP-МС; ИСП-МС)*. Высокочувствительный многоэлементный анализ ИСП-МС выполнялся для изучения *300 проб нерастворимого осадка снегового покрова, 9 образцов промышленной пыли*. В данную работу включены также результаты изучения *24 проб снеговой воды*, отобранных в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска.

Содержание 64 химических элементов (от Li до U) в пробах определяли на масс-спектрометре Elan модель DRC-E № W1520501 фирмы «PerkinElmer Instruments LL S» (США). Содержание рения, платины, золота, ртути, теллура и рутения находилось ниже предела обнаружения анализа во многих пробах, поэтому эти элементы в дальнейшем не учитывали при анализе данных.

Аттестованная методика анализа основана на выщелачивании навески нерастворимого осадка снегового покрова в смеси кислот с использованием микроволнового разложения, распылении полученного раствора в плазму индуктивно-связанного разряда. Для разложения проб использовали соляную, азотную, фтористоводородную и борную кислоты. Исследования элементного состава проб снеговой воды проводилось в соответствии с ГОСТ Р 56219–2014.

Точность метода ИСП-МС находится на уровне 5%, что обеспечивается выполнением анализа по аттестованными методиками и контрольными измерениями ГСО.

Сравнительный анализ содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова, определенных методами ИНАА в лаборатории ТПУ и ИСП-МС в лаборатории ХАЦ «Плазма», показал удовлетворительную сходимость данных методов по большинству изучаемых элементов (таблица 3.2.3).

Таблица 3.2.3. – Критерии сравнения средних содержаний (мг/кг) химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова методами ИНАА и ИСП-МС

Элемент	ИНАА (ТПУ)		ИСП-МС (ХАЦ «Плазма»)		Расхождение, %	Уровень значимости (p-level)
	Среднее	S	Среднее	S		
Na,%	0,9	0,2	0,9	0,3	2,8	>0.1
Fe,%	3,7	1,2	3,4	1,1	8,7	>0.1
As	15,2	8,6	22,3	12,2	47,3	<0.001
Zn	869	1212	773	1129	11,1	>0.1
Sb	6,1	3,2	6,9	3,5	13,0	>0.1
Co	17,8	5,6	15,8	4,9	11,1	>0.1
Cr	117	63,3	79,9	34,6	31,7	<0.001
Ba	857	593	898	511	4,8	>0.1
Sr	359	345	359	347	0,1	>0.1
Sc	9,2	2,0	9,0	7,1	1,7	<0.01
Rb	45,3	12,5	45,0	14,3	0,6	>0.1
Cs	2,9	1,0	2,7	1,1	5,9	>0.1
La	28,5	6,0	26,6	6,8	6,8	>0.1
Hf	4,8	1,5	2,6	0,9	46,7	<0.001
Ce	56,1	10,7	53,3	13,7	5,0	>0.1
Nd	22,1	6,0	20,2	5,8	8,9	>0.1
Ta	0,8	0,2	0,8	0,2	3,4	>0.1
Sm	4,3	1,0	3,9	1,1	9,5	< 0.1
Eu	0,9	0,2	0,9	0,2	1,8	>0.1
Tb	0,6	0,2	0,6	0,2	2,7	>0.10
Yb	2,5	0,6	1,6	0,4	36,0	<0.001
Lu	0,3	0,1	0,2	0,1	24,3	<0.001
Th	6,1	1,8	5,7	2,1	6,6	>0.1
U	2,8	0,8	2,3	0,9	17,5	<0.025

Примечание: данные автора для г. Томск, 2015 г., кол-во проб – 51; S – стандартное отклонение

Проведенный внешний и внутренний контроль определения содержания химических элементов в пробах методом ИСП-МС показывает хорошую сходимость результатов (рисунок 3.2.4).

**III. Лаборатория гидрогеохимии Научно-образовательного центра (НОЦ) «Вода» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511901; руководитель: к.г.-м.н. Ю.Г. Копылова, к.г.-м.н. А.А. Хвощевская; аналитики: М.Г. Камбалина, В.А. Шушарина, Н.И. Шердакова), отделение геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета.**

Для анализа ионного состава проб снеговой воды использовали методы ионной хроматографии ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) и титриметрии ( $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , Ок. перм.), фтор-

иона ( $F^-$ ) и рН – потенциометрический метод, электропроводности (Eh) – кондуктометрию (электропроводность), общей жесткости – расчетный метод. Измерения осуществляли в соответствии с аттестованными методиками. В данную работу включены результаты изучения 24 проб снеговой воды, отобранных в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томск.

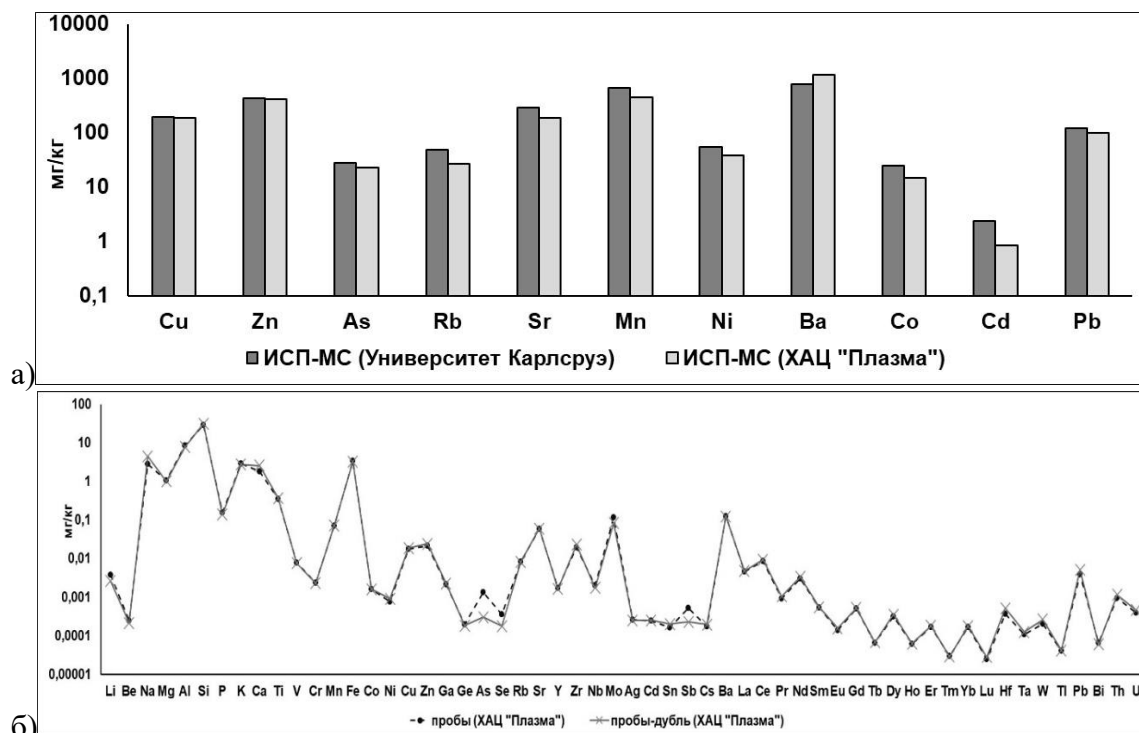


Рисунок 3.2.4. – Внешний (а) и внутренний (б) контроль содержания химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова, определяемых методом ИСП-МС

**IV. НОЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» (директор: профессор, д.т.н. О.Г. Хасанов; аналитик: аспирант А.А. Леонов), Национальный исследовательский Томский политехнический университет.**

*Метод лазерной дифракции.*

Определение гранулометрического состава нерастворимого осадка снегового покрова осуществлялось на приборе SALD-7101 фирмы SHIMADZU (Япония) с полупроводниковым лазером (длина волны 375 нм, выход 10 мВт), который позволяет проводить измерения в диапазоне от 0,01 до 300 мкм. При этом регистрируются 101 класс размеров частиц. Навеска каждой пробы помещалась в ванну смесителя с дистиллированной водой и в течение 5 мин диспергировалась при помощи ультразвуковой установки (40 Вт, 40 кГц). Для характеристики гранулометрического состава проб использовали средний диаметр частиц и стандартное отклонение, одномерные параметры гранулометрического состава (D10, D50 и D90) из кумулятивной кривой распределения, а также долю фракций частиц крупных, мелких и ультра мелких размеров из дифференциальной кривой распределения с учетом диапазона измерения размеров частиц на приборе. Всего изучено 5 проб из района расположения ГРЭС-2 (г. Томск).

**V. Аналитическая лаборатория Института минералогии и геохимии Университета Карлсруэ (г. Карлсруэ, Германия) (директор Института: Dr. D. Stuben, консультант: PhD S. Norra).**

В рамках гранта DAAD в период научной стажировки в Университет Карлсруэ (Германия) в 2007 г. автор проводила изучение в лабораториях *12 проб нерастворимого осадка снегового покрова*, отобранных в 2005–2006 гг. в районе кампуса ТПУ, Академгородка, зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск), сельских населенных пунктов Томского района Томской области, подвергаемых воздействию СХК.

*5.1. Рентгеновская дифрактометрия (аналитик: В. Oetzel).*

Качественный анализ содержания кристаллических фаз в пробах осуществляли на установке Siemens Kristalloflex D500. Для каждой пробы, истертой до пудры и шлифованной в кювете, проводили 6000 измерений под углами от 30 до 63° в течение 1-1,5 часов. Полученные дифрактограммы анализировали с помощью ПО «Diffrac 11» для определения видов кристаллических фаз, содержащихся в пробах. Предел обнаружения минерала – от 1 до 2 %. Всего изучено *11 проб нерастворимого осадка снегового покрова*.

*5.2. Сканирующая электронная микроскопия (аналитик: V. Zibat).*

Изучение микрочастиц в нерастворимом осадке снегового покрова выполняли на сканирующем электронном микроскопе LEO 1530 Gemini (фирма ZEISS, Германия). Небольшую часть пробы помещали в кювету с помощью токопроводящего клея, а затем пробу покрывали 10 нм слоем углерода. Затем на микроскопе для каждой частицы делали микрофото и получали энергодисперсионный спектр при 15кЭВ.

Всего изучено *123 частицы в 12 пробах нерастворимого осадка снегового покрова*.

*5.3. Метод анализа масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой (аналитик: Cl. Mößner).*

Определение содержания 21 химических элементов (Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Cd, Ba, Pb, Tl) в *4-х пробах нерастворимого осадка снегового покрова* осуществляли на масс-спектрометре VG AXIOM. Проводили растворение проб в HNO<sub>3</sub> (65%), HF (40%) и HClO<sub>4</sub> (70%) при t=180°C. Одновременно с пробами проводили изучение стандартного образца (GRX-2, почва, Колорадо, США).

**VI. Центр радиэкологии окружающей среды Норвежского университета наук о жизни (г. Ос, Норвегия) (руководитель: Dr. B. Salbu, консультант: PhD O-C Lind, аналитик: PhD C-V. Wendel).**

*Метод масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой.*

Во время прохождения научной стажировки автора определение концентрации урана и отношения изотопов урана <sup>235</sup>U/<sup>238</sup>U в пробах осуществлялось методом ИСП-МС (масс-

спектрометр Perkin-Elmer ELAN 6000) после радиохимического разделения проб путем последовательного экстрагирования химическими растворами с уменьшающимся показателем рН (М-Q вода, рН 7, 5, 3, 2 и концентрированная  $\text{HNO}_3$ ) в соответствии с методиками, представленных в работах (Clacher, 1995; Salbu, 2000; Salbu et al., 2004; Lind, 2006). Всего изучено *6 проб нерастворимого осадка снегового покрова*: из зоны воздействия ГРЭС-2 (г. Томск), ТЭЦ (г. Северск), сельских населённых пунктов (сс. Наумовка, Георгиевка) Томского района Томской области, а также зола уноса с ГРЭС-2.

**VII. Дальневосточный Федеральный университет (г. Владивосток), НОЦ «Нанотехнологии» (руководитель: д.б.н., К.С. Голохваст, аналитики: к.б.н. В.В. Чайка, к.х.н. А.М. Захаренко).**

*Метод лазерной дифракции*

Во время научной стажировки определение гранулометрического состава нерастворимого осадка снегового покрова и твердых частиц, взвешенных в снеговой воде, осуществляли на лазерном анализаторе частиц Fritsch Analysette Nanote c 22 plus (Германия) в соответствии с апробированной методикой (Голохваст, 2014). Выявляли распределение частиц по размерам и их форму в 40 мл жидкости, содержащую пробу нерастворимого осадка снегового покрова или снеговой воды. Форму частиц изучали на анализаторе Malvern Morphologi G3-ID после отбора дозатором и высушивания на предметном стекле аликвоты жидкости с пробой.

Всего изучено *4 пробы нерастворимого осадка снегового покрова и 8 проб снеговой воды* с территории г. Томска.

**VIII. Карагандинский государственный технический университет, Испытательная лаборатория «Комплексное освоение ресурсов минерального сырья» (ИЛИП «КОРМС») (Республика Казахстан, г. Казахстан).**

*Сканирующая электронная микроскопия (аналитик: Н.А. Савельева, Т.Е. Адильбаева)*

Анализ *26 микрочастиц в 3-х пробах нерастворимого осадка снегового покрова* из зоны воздействия ТЭЦ г. Караганда проводили на сканирующем электронном микроскопе TESCAN серии Vega\LSU (производство TESCAN ORSAY HOLDING, Чехия) с разрешающей способностью 3 нм, при высоковакуумном режиме и напряжении 20 кЭВ.

### **3.3. Методика обработки данных лабораторно-аналитических исследований**

Обработка данных аналитических исследований состава проб нерастворимого осадка снегового покрова включала определение эколого-геохимических показателей, многомерный статистический анализ данных и картографическое представление результатов при личном участии автора. Значения «ураганных» содержаний химических элементов в пробах были заменены на максимальные значения в изучаемой выборке.

Интерпретация и обобщение полученного обширного фактического материала проводились также с привлечением большого объема российской и иностранной литературы, фондовых данных по обсуждаемой тематике.

*Определение эколого-геохимических показателей для нерастворимого осадка снегового покрова.* Анализ данных химического состава проб выполнялся в соответствии с методическими рекомендациями ИМГРЭ (1982 г.) и методическим рекомендациям № 5174-90 от 15 мая 1990 г., утвержденные главным государственным санитарным врачом СССР, а также опубликованными работами (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012).

Проводился расчет следующих эколого-геохимических показателей.

1). Пылевая нагрузка, характеризующая уровень пылевого загрязнения территории в зимний период, и вычисляемая по формуле 3.3.1:

$$P_{п} = \frac{P_{о}}{(S \times t)} \quad (3.3.1)$$

где  $P_{п}$  – пылевая нагрузка, мг/(м<sup>2</sup>·сут.);  $P_{о}$  – масса нерастворимого осадка снегового покрова, мг;  $S$  – площадь снегового шурфа, м<sup>2</sup>;  $t$  – количество суток от даты установления устойчивого снегового покрова (снегостав) до даты отбора пробы, сутки.

По величине  $P_{п}$  оценивают уровни загрязнения и экологической опасности территории по общепринятым градациям (Методические ..., 1982; Методические ..., 1990; Геохимия ..., 1990; Касимов и др., 2012) (таблица 3.3.1).

Таблица 3.3.1. – Градации уровней загрязнения и экологической опасности территории по величине пылевой нагрузки ( $P_{п}$ )

Уровень загрязнения*	$P_{п}$ , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Уровень опасности**	$P_{п}$ , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Уровень загрязнения***	$P_{п}$ , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)
Низкий	100–250	Неопасный	<200	Около-фоновая	<20
Средний	250–450	Умеренно-опасный	200–300	Низкий	20–60
Высокий	450–850	Опасный	300–500	Средний	60–240
Очень высокий	≥850	Очень опасный	500–800	Высокий	240–600
		Чрезвычайно опасный	≥800	Очень высокий	≥600

\*\* – методические рекомендации ИМГРЭ (1982); Геохимия..., 1990; методические рекомендации № 5174-90 от 15 мая 1990 г.; \*\* – Касимов и др., 2012; \*\*\* – относительно фона для юга Сибири

Выполненные исследования в различных фоновых районах в данной работе и другими исследователями показали, что величины фоновой пылевой нагрузки на равнинной территории Сибири изменяются от 3,1 до 14 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) (таблица 3.3.2). В то же время, в отдельных фоновых районах в разные периоды наблюдений уровень пылевой нагрузки достигал 20 мг/(м<sup>2</sup>·сут.). Полученные нами результаты сопоставимы с уровнем пылевой нагрузки (10–20 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) для равнинной континентальной территории умеренных широт (Линник, 1985; Геохимия..., 1990).



В данной работе для оценки уровня загрязнения предложено использовать градацию по пылевой нагрузке относительно фона в условиях юга Сибири, уровень которой составляет менее 20 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), учитывая флуктуацию фона, анализ авторских и литературных данных (таблица 3.3.1).

Таблица 3.3.2 – Сравнительный анализ средних величин пылевой нагрузки в различных фоновых районах Сибири по исследованию снегового покрова

Район	P <sub>п</sub> , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Район	P <sub>п</sub> , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)
Умеренные широты*	10	40 км от г.Ачинск****	8,6
Региональный фон для Западной Сибири**	7	50 км от г.Красноярск	4,9
Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН (среднее, 2006-2007 гг., 2013 г.)	12,8	10 км от г.Сорск	2,1
70–130 км от г.Омск	10,2	Барабинская и Васюганская равнина*****	3,1
100 км от г. Омск***	3,1	9-20 км от г.Тобольск*****	3,2
40 км от г.Черногорск	10	Фоновый район для г.Иркутск*****	14
50–60 км от г.Кемерово	9,4		

\* – Геохимия..., 1990; \*\* – Шатилов, 2001; Язиков, 2006; \*\*\* – Литая и др., 2015; \*\*\*\* – Шахова, 2018; \*\*\*\*\* – Ермолов, Смоленцев, 2020; \*\*\*\*\* – Московченко и др., 2021; \*\*\*\*\* – Филимонова, 2017

2). Коэффициент концентрации (K<sub>c</sub>), являющийся показателем уровня аномального содержания химического элемента в нерастворимом осадке снегового покрова относительно фонового уровня, рассчитываемый по формуле 3.3.2:

$$K_c = \frac{C}{C_\phi} \quad (3.3.2)$$

где C – содержание химического элемента в пробе нерастворимого осадка снегового покрова в пункте отбора, мг/кг; C<sub>φ</sub> – фоновое содержание химического элемента в пробе.

В качестве фона использованы данные об уровне содержания 27 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова (таблица 3.3.3) с фоновых территорий для юга Западной Сибири (Средний Васюган, заказника «Томский»), которые получены методом ИНАА и опубликованы в диссертациях (Шатилов, 2001; Язиков, 2006). Содержания химических элементов в пробах лучше удовлетворяют уровням накопления в снеговом покрове в фоновых условиях (рисунок 3.3.1).

Выявленные уровни содержания Hg методом ААСМ, As, Zn, Nd методом ИНАА, а также 60 химических элемента методом ИСП-МС в пробах нерастворимого осадка снегового покрова с территории Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН (~70 км на юг от г. Томска), приняты в качестве фоновых значений для этих элементов (таблица 3.3.4), наиболее лучше удовлетворяющие фоновым показателям (рисунок 3.3.2). Данная Обсерватория имеет статус фонового района для юга Западной Сибири (Antonovich et al., 2018). В Республике Хакасия

фоновые данные по содержанию химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова соответствовали местным климатическим и ландшафтным условиям.

Таблица 3.3.3. – Фоновые значения содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова ( $C_{\text{ф}}$ ) и среднесуточного выпадения химических элементов на снеговой покров ( $P_{\text{общ.ф}}$ ) по данным метода ИНАА

Элемент	$C_{\text{ф}}$ , мг/кг	$P_{\text{общ.ф}}$ , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)	Элемент	$C_{\text{ф}}$ , мг/кг	$P_{\text{общ.ф}}$ , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)
Na*	0,2	10,5	Cs	3,5	24,5
Ca*	0,8	57	La	2,8	19,6
Fe*	1,9	130	Hf	2,2	15,4
Hg**	0,08	1,2	Au	0,20	1,5
As	18,6	117	Ce	10,3	72,1
Zn	139	879	Nd	14,9	88,7
Sb	2,3	16,1	Ta	0,2	0,7
Co	10,3	72,1	Sm	0,6	4,0
Cr	110	770	Eu	1,1	7,7
Ba	100	700	Tb	0,06	0,4
Sr	100	700	Yb	0,2	1,4
Sc	7,1	49,7	Lu	0,2	0,5
Br	2,9	20,3	Th	2,9	20,3
Rb	55,0	385	U	0,2	1,4

\* – содержание Na, Ca, Fe в %;  $P_{\text{общ}}$  для Na, Ca, Fe в г/(км<sup>2</sup>·сут.); \*\* – метод ААСМ; фон – по данным А.Ю. Шатилова (2001 г.) и Е.Г. Язикова (2006 г.); фон для As, Nd, Hg, Zn – по данным автора (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН)

3). Среднесуточное выпадение химического элемента на снеговой покров ( $P_{\text{общ}}$ , мг/(км<sup>2</sup>·сут.)), определяемое по формуле 3.3.3:

$$P_{\text{общ}} = C \times P_{\text{п}} \quad (3.3.3)$$

где  $C$  – содержание химического элемента в пробе нерастворимого осадка снегового покрова, мг/кг;  $P_{\text{п}}$  – пылевая нагрузка, кг/(км<sup>2</sup>·сут.).

4). Коэффициент превышения выпадений химического элемента над фоном ( $K_{\text{р}}$ ), рассчитываемый по формуле 3.3.4:

$$K_{\text{р}} = \frac{P_{\text{общ}}}{P_{\text{общ.ф}}} \quad (3.3.4)$$

где  $P_{\text{общ.ф}}$  – среднесуточное выпадение химического элемента на снеговой покров в фоновом районе, мг/(км<sup>2</sup>·сут.), которое вычисляется по формуле 3.3.3. В таблицах 3.3.3–3.3.4 представлены значения величин  $P_{\text{общ.ф}}$ , используемые в данной работе.

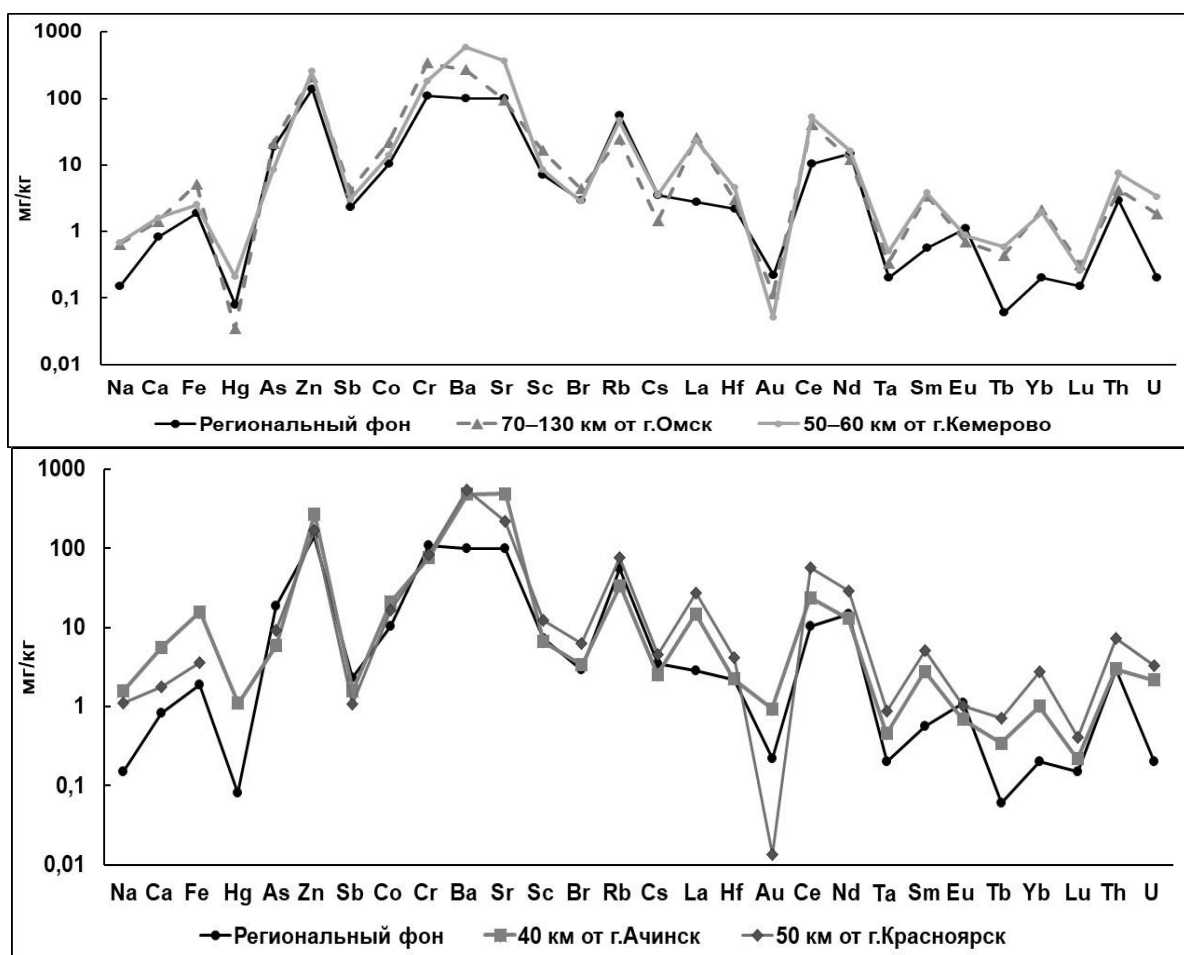


Рисунок 3.3.1. – Сравнительный анализ содержания химических элементов в нерастворимом осадке снега с различных фоновых районов по данным метода ИНАА (региональный фон – Шатилов, 2001; Язиков, 2006 (Средний Васюган, заказника «Томский»), с доп. автора для Hg, As, Nd, Zn (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН); Hg – метод ААСМ)

Таблица 3.3.4. – Фоновые значения содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова ( $C_{\phi}$ ) и среднесуточного выпадения химических элементов на снеговой покров ( $P_{\text{общ.}\phi}$ ) по данным метода ИСП-МС

Элемент	$C_{\phi}$ , мг/кг	$P_{\text{общ.}\phi}$ , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)	Элемент	$C_{\phi}$ , мг/кг	$P_{\text{общ.}\phi}$ , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)
Li	13,0	70,3	Cd	0,6	3,1
Be	1,2	6,7	In	0,1	0,4
Na*	0,4	24,0	Sn	19,4	105
Mg*	0,3	15,6	Sb	4,2	22,6
Al*	2,4	132	Cs	1,8	10,0
Si*	9,7	524	Ba	305	1655
P*	0,1	5,3	La	15,3	83,0
K*	0,6	34,0	Ce	30,7	167
Sc	5,0	27,2	Pr	3,3	18,1
Ti*	0,2	10,0	Nd	12,9	69,8
V	20,2	110	Sm	2,5	13,5
Cr	46,7	254	Eu	0,5	2,7

\* – содержание Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Fe, Ti в %;  $P_{\text{общ}}$  для Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Fe, Ti в г/(км<sup>2</sup>·сут.); фон – Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН, совместные данные с Филимоненко Е.А. (2015 г.)

Таблица 3.3.4. (Окончание)

Элемент	С <sub>ф</sub> , мг/кг	Р <sub>общ.ф.</sub> , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)	Элемент	С <sub>ф</sub> , мг/кг	Р <sub>общ.ф.</sub> , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)
Mn	236	1280	Gd	2,5	13,4
Fe*	1,5	81,6	Tb	0,4	1,9
Co	6,2	33,6	Dy	2,0	11,0
Ni	9,5	51,5	Ho	0,4	2,1
Cu	92,2	501	Er	1,1	6,0
Zn	133	725	Tm	0,2	0,9
Ga	9,2	49,8	Yb	1,0	5,5
Ge	0,7	3,6	Lu	0,2	0,8
As	8,6	46,4	Hf	1,5	8,4
Se	5,8	31,4	Ta	0,5	2,6
Rb	28,2	153	W	2,5	13,4
Sr	126	685	Tl	0,2	1,3
Y	10,2	55,5	Pb	87,6	476
Zr	74,5	404	Bi	0,7	3,8
Nb	7,1	38,7	Th	3,9	21,2
Mo	1,5	8,3	U	1,4	7,7
Ag	2,0	10,8	Ca	0,7	38,0

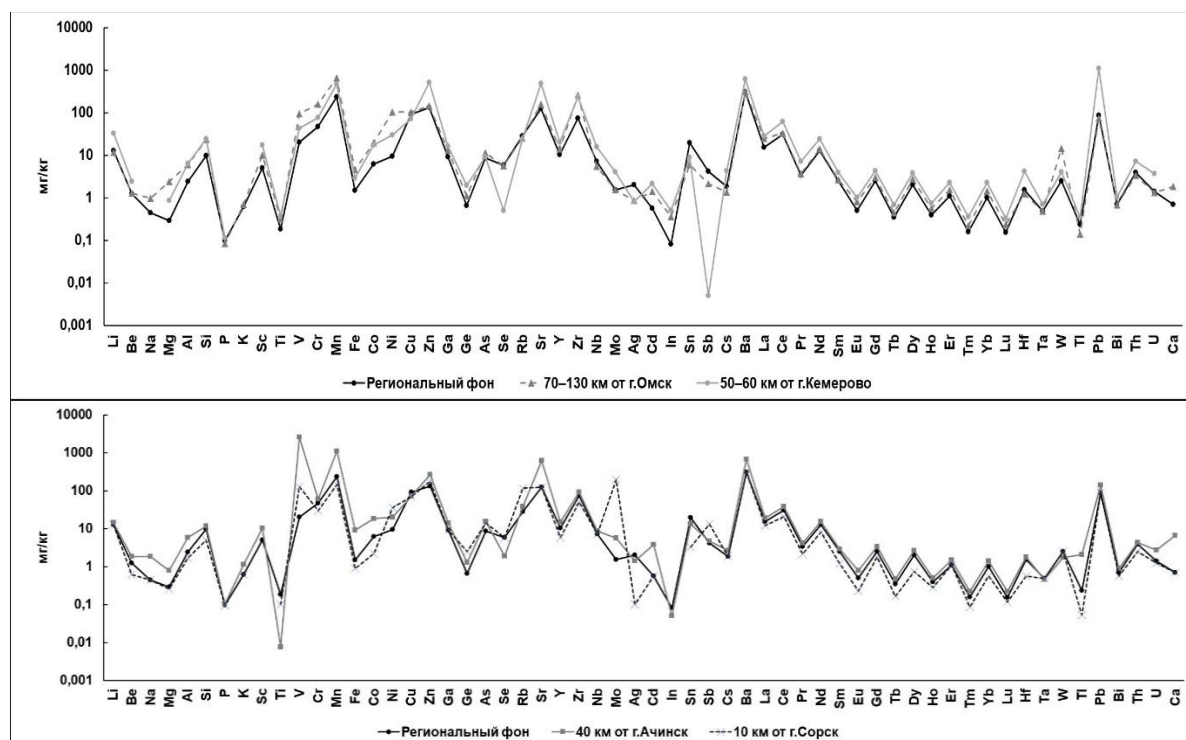


Рисунок 3.3.2. – Сравнительный анализ содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в различных фоновых районах по данным метода ИСП-МС (региональный фон – Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН)

5). Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ), характеризующий полиэлементное загрязнение территории, рассчитываемый по формуле 3.3.5:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1) \quad (3.3.5)$$

где  $n$  – количество химических элементов в выборке с аномальными величинами  $K_c$  (аномальная величина  $K_c \geq 1,5$ , учитывая флуктуацию фона).

Для показателя  $Z_c$  используется градация для оценки уровня загрязнения комплексом химических элементов, содержащихся в нерастворимом осадке снегового покрова, а также для выявления уровня экологической опасности (таблица 3.3.5).

Таблица 3.3.5. – Градации уровней загрязнения и экологической опасности территории по величине суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ )

Уровень загрязнения*	$Z_c$	Уровень опасности**	$Z_c$
Низкий	$\leq 64$	Неопасный	$\leq 32$
Средний	64–128	Умеренно-опасный	32–64
Высокий	128–256	Опасный	64–128
Очень высокий	$\geq 256$	Очень опасный	128–256
		Чрезвычайно опасный	$\geq 256$

\* – см. таблицу 3.3.1

б). Суммарный показатель нагрузки ( $Z_p$ ), характеризующий полиэлементную нагрузку на территорию, вычисляемый по формуле 3.3.6:

$$Z_p = \sum K_p - (n - 1) \quad (3.3.6)$$

где  $n$  – количество химических элементов в выборке с аномальными величинами  $K_p$  (аномальная величина  $K_p \geq 1,5$ , учитывая флуктуацию фона).

Уровень полиэлементной нагрузки и соответствующий уровень экологической опасности определялся в зависимости от значений  $Z_p$  (таблица 3.3.6).

Таблица 3.3.6. – Градации уровней загрязнения и экологической опасности территории по величине суммарного показателя нагрузки ( $Z_p$ )

Уровень загрязнения*	$Z_p$	Уровень опасности**	$Z_p$
Низкий	$\leq 1000$	Неопасный	$\leq 1000$
Средний	1000–5000	Умеренно-опасный	1000–2000
Высокий	5000–10000	Опасный	2000–4000
Очень высокий	$\geq 10000$	Очень опасный	4000–8000
		Чрезвычайно опасный	$\geq 8000$

\* – см. таблицу 3.3.1

Следует отметить, что согласно методическим рекомендациям ИМГРЭ расчет  $Z_c$  и  $Z_p$  необходимо проводить для тяжелых металлов 1, 2, 3 класса опасности. Но на наш взгляд, необходимо оценить опасность загрязнения окружающей среды всем комплексом изучаемых химических элементов, т.к. помимо прямого токсичного воздействия для многих элементов характерны отдаленные эффекты (Андреева и др., 1990). Поэтому в данной работе расчет  $Z_c$  и  $Z_p$  осуществлялся по всему спектру изучаемых химических элементов со значениями  $K_c \geq 1,5$  и  $K_p \geq 1,5$ .

7). Фактор обогащения (ФО) используется для оценки вклада антропогенной составляющей в формирование химического состава аэрозолей (Аэрозоли ..., 2006) и вычисляется по формуле 3.3.7:

$$FO = \frac{(C_x / C_{Sc})_{ТОС}}{(C_x / C_{Sc})_{з.к.}} \quad (3.3.7)$$

где  $C_x$  – содержание химического элемента в нерастворимом осадке снегового покрова (ТОС) и кларк этого химического элемента в земной коре (з.к.), мг/кг;  $C_{Sc}$  – содержание скандия в нерастворимом осадке снега (ТОС) и кларк скандия в земной коре (з.к.), мг/кг.

Расчет ФО проводится относительно одного из наиболее распространенных в почвах и земной коре химических элементов (Fe, Al, Si, Sc), которые также характеризуются низкими показателями технофильности. В данной работе репером являлся Sc. Значения кларков в земной коре выбраны в соответствии с рекомендациями Н.С. Касимова с соавторами (2015 г.) при проведении эколого-геохимических исследований (Na, Ca, Ba, Au – Rudnick and Gao, 2003; Co, Cs – Hu and Gao, 2008; Br – Wedepohl, 1995; спектр редких элементов, U, Th, Hg, Cr – Григорьев, 2009).

*Определение взаимосвязанных эколого-геохимических показателей для нерастворимого осадка снегового покрова и снеговой воды.*

1). Коэффициент превышения (К) содержания химического элемента в снеговой воде над фоном (формула 3.3.8) и/или ПДК для водных объектов (формула 3.3.9):

$K = \frac{C_{c.в.}}{C_{c.в.ф}}$	(3.3.8)
$K = \frac{C_{c.в.}}{ПДК_{хп(рз)}}$	(3.3.9)

где  $C_{c.в.}$  – содержание химического элемента в снеговой воде в пункте отбора пробы, мг/дм<sup>3</sup>,  $C_{c.в.ф}$  – содержание химического элемента в снеговой воде в фоновом районе, мг/дм<sup>3</sup>;  $ПДК_{хп(рз)}$  – предельно допустимая концентрация для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ( $ПДК_{хп}$ ) и рыбохозяйственного назначения ( $ПДК_{рз}$ ) в соответствии с гигиеническими нормативами (ГН 2.1.5.1315-03; Об утверждении ..., 2016; Постановление от 28.01.21 г. № 2), мг/дм<sup>3</sup>.

Для снеговой воды фоновыми являлись содержания элементов в пробах, отобранные на территории Обсерватории «Фоновая» ИОА СО РАН (таблица 3.3.7).

2). Коэффициент распределения химических элементов между их содержанием в нерастворимом осадке снегового покрова и снеговой воде ( $K_{распр}$ ) (Бортникова и др., 2009), вычисляемый по формуле 3.3.10:

$K_{распр} = 1g \frac{C_{ТОС}}{C_{c.в.}}$	(3.3.10)
---	----------

где:  $C_{ТОС}$  – содержание химического элемента в нерастворимом осадке снегового покрова (ТОС), мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{c.в.}$  – содержание химического элемента в снеговой воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 3.3.7. – Фоновые значения содержания химических элементов в снеговой воде по данным метода ИСП-МС

Элемент	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>	Элемент	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>	Элемент	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>
Li	0,00006	Ge	0,000003	Nd	0,000025
Be	0,000028	As	0,000384	Sm	0,000003
B	0,00055	Se	0,00223	Eu	0,000002
Na	0,096	Br	0,0187	Gd	0,000004
Mg	0,054	Rb	0,00013	Tb	0,000003
Al	0,028	Sr	0,0025	Dy	0,000003
Si	0,05	Y	0,000030	Ho	0,000003
P	0,008	Zr	0,000028	Er	0,000003
K	0,09	Nb	0,000003	Tm	0,000003
Ca	0,4	Mo	0,000027	Yb	0,000003
Sc	0,000005	Ag	0,000005	Lu	0,000003
Ti	0,0008	Cd	0,000029	Hf	0,000003
V	0,00016	In	0,000001	Ta	0,000001
Cr	0,0002	Sn	0,000027	W	0,00004
Mn	0,0019	Sb	0,00078	Tl	0,000003
Fe	0,015	Te	0,000003	Pb	0,001
Co	0,000039	Cs	0,000008	Bi	0,00005
Ni	0,000161	Ba	0,0023	Th	0,000003
Cu	0,00072	La	0,000034	U	0,000010
Zn	0,00373	Ce	0,000064	Ca	0,4
Ga	0,000012	Pr	0,000006	Hg*	0,000003

\*Hg – метод ААСМ; фон – Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН, совместные данные с Филимоненко Е.А. (2015 г.)

3). Балансовое соотношение химических элементов в системе «твердый осадок снегового покрова–снеговая вода» (Маркова, 2003; Филимоненко, 2015), рассчитывалось по формулам 3.3.11 и 3.3.12:

$D_{ТОС} = \frac{P_{ТОС}}{P_{СНЕГ}} \times 100$	(3.3.11)
$D_{с.в.} = 100 - D_{ТОС}$	(3.3.12)

где  $D_{ТОС}$  – доля химического элемента в нерастворимом (твердом) осадке снегового покрова (ТОС), %;  $P_{ТОС}$  – масса химического элемента в ТОС, мг;  $P_{СНЕГ}$  – общая масса химического элемента в пробе снегового покрова, мг;  $D_{с.в.}$  – доля химического элемента в снеговой воде, %.

*Многомерный статистический анализ данных* по пылевой нагрузке, содержанию химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова и эколого-геохимическим показателям выполняли в ПО «Statistica» с использованием учебного пособия (Михальчук и Язиков, 2015).

Методика статистической обработки данных включала следующие операции:

1). Оценка числовых характеристик (среднеарифметическое, среднегеометрическое, медиана; мода; минимум; максимум; стандартное отклонение; коэффициент вариации;

стандартная ошибка среднего; асимметрия; стандартная ошибка асимметрии; эксцесс; стандартная ошибка эксцесса).

В данной работе в качестве среднего содержания химических элементов в пробах использовались среднеарифметические значения по выборке, которые в условиях как нормального, так и асимметричного распределений дают наиболее состоятельную и несмещенную оценку математического ожидания значений (Шатилов, 2001).

2). Проверка гипотезы о законе распределения содержания химических элементов в выборке тестами Колмогорова-Смирнова и Хи-квадрат, а также отношением асимметрии и эксцесса к их ошибкам.

Степень значимости отличия от нормального закона определялась по уровню значимости ( $p$ ): незначимые ( $p \geq 0,1$ ), слабозначимые ( $0,1 > p \geq 0,05$ ), значимые ( $0,05 > p \geq 0,01$ ), сильнозначимые ( $0,01 > p \geq 0,001$ ) и высокочисленные ( $p < 0,001$ ) различия.

3). Вычисление коэффициентов корреляции Пирсона или Спирмена.

4). Кластерный анализ ассоциаций химических элементов (Ward's method, мера сходства 1-г) с построением дендрограммы корреляционной матрицы.

5). Факторный анализ ассоциаций химических элементов.

б). Сравнение выборок параметрическими критериями Фишера и Стьюдента, непараметрическими – Манна-Уитни и Колмогорова-Смирнова, Краскела-Уоллиса и медианным тестом. Степень различия выборок определялась по уровню значимости ( $p$ ).

*Картографическое представление данных* выполнялось для анализа пространственного распределения пылевой нагрузки, концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова, техногенных частиц на изучаемой территории с целью выявления атмотехногенных геохимических ореолов, промышленных источников загрязнения и дальности переноса (распространения) твердых аэрозольных частиц с комплексом химических элементов.

Картографические материалы создавали в ПО «CorelDraw» и ПО «Surfer». При построении карт-схем в пакете «Surfer» использовали метод кригинг-интерполяции (kriging) в случае площадной системы отбора проб, являющийся наиболее универсальным методом, поскольку имеет наиболее широкий набор опций для интерполяций, а также метод естественной окрестности (Natural Neighbor) в случае внемасштабного отбора проб.

В соответствии с методикой выделения геохимических аномалий (формула 3.3.13), на картах-схемах изолинии пространственного распределения изучаемого показателя выделены цветом области:

$m \pm (2,3,4,5) \times \sigma$	(3.3.13)
---------------------------------	----------

где  $m$  – среднеарифметическое или минимальное значение показателя (содержание элемента,  $P_n, P_{общ}$ ) в выборке;  $\sigma$  – стандартная ошибка среднеарифметического значения.



### 3.4. Эксперименты по биотестированию нерастворимого осадка снегового покрова

#### Эксперименты по биотестированию на *Drosophila melanogaster*.

Для изучения генетических последствий влияния химических веществ наиболее оптимальным тест-объектом считается дрозофила *Drosophila melanogaster* (Лучкина и др., 1982; Дроздовская и др., 1988; Сущенко и др., 1992; Методические ..., 1992; 1998). Биотестирование на дрозофилах проводится для изучения токсичности нефти (Яркова, 2001), отходов горнодобывающего производства (Азарова, 2004), городских почв (Жорняк, 2008); нефтяных шламов (Климова, 2021), веществ, содержащихся в воздухе помещений цехов промышленных предприятий (патент № 2036237, 1995).

Для экспериментов по определению биологического воздействия нерастворимого осадка снегового покрова на *Drosophila melanogaster* автором впервые в период с 2001 по 2015 гг. апробирована методика биотестирования, используемая для оценки мутагенных свойств фармакологических средств (Методические ..., 1992; 1998). Эксперименты и анализ данных выполнены лично диссертантом в лаборатории Сибирского государственного медицинского университета (г. Томск) при консультации д.б.н. Н.Н. Ильинских и ассистента кафедры биологии и генетики Н.А. Новиковой. Подробная методика эксперимента и основные результаты представлены в кандидатской диссертации автора (Галовская, 2008).

В ходе эксперимента в приготовленную питательную среду добавляли нерастворимый осадок снегового покрова. Автором опытным путем установлено, что наиболее оптимальная концентрация пробы, позволяющая оценить биологическое воздействие изменяется от 0,1 до 3%. Параллельно с опытной группой (питательная среда с пробой) проводили изучение дрозофил в контрольной группе (питательная среда без пробы). В результате скрещивания самок линии *yellow* (*y*) с самцами линии *singed* (*sn*), получали гибриды поколения F1 (самки –  $y^{+}/+sn$ , самцы  $y^{+}/Y$ ). Во время эксперимента с использованием стереоскопического бинокулярного микроскопа в опытной и контрольной группах фиксировали количество самок и самцов дрозофил поколения F1, проявление морфоз и мозаиков у дрозофил.

Фенотипические изменения, напоминающие результат действия генных факторов, но не являющихся результатом мутации в соматических тканях и гонадах и, следовательно, не передающихся потомству, называются «морфозами». Морфозы у дрозофил проявлялись в виде отсутствия щетинок, сломанных/надломленных щетинок, лишних щетинок, неразвитых крыльев (смятые, скрученные) и нарушения жилкования крыльев. Наиболее быстрым и эффективным способом проверки наличия или отсутствия у исследуемого вещества мутагенных свойств при действии на соматические ткани является испытание их способности вызывать соматический мозаицизм у дрозофилы, как результат соматического кроссинговера. Это проявляется в виде мозаичных пятен на сером теле самки, т.е. с нормальными щетинками появлялись близнецовые

мозаичные пятна, одно из которых будет желтого цвета с нормальными щетинками, а другое – серого цвета с извитой (опаленная) щетинкой (Тупицына, 1965; Завадский и др., 1975).

На основе экспериментальных данных в опытной и контрольной группах рассчитывали величины критерия сравнения двух вероятностей биномиальных распределений (критерий Колмогорова-Смирнова,  $U_{набл}$ ) и критерия соответствия (Хи-критерий,  $\chi^2$ ), а также их уровни значимости ( $p$ ). Высоко значимые, статистически и слабо значимые различия характеризуют биологическое влияние изучаемых проб, тогда как незначимые различия – отсутствие влияния проб, что связано с химическим и минерально-вещественным составом.

Всего диссертантом изучено 67235 *дрозофилы Drosophila melanogaster* в 30 пробах нерастворимого осадка снегового покрова с территории г. Томска и некоторых сельских населенных пунктов Томского района Томской области.

### **Биотестирование на инфузориях *Paramecium caudatum*.**

В качестве тест-объекта выбран вид высокоорганизованных простейших – инфузория-туфелька (*Paramecium caudatum*), которая воспринимает различные химические вещества на рецепторном уровне и, следовательно, достаточно быстро реагирует на их воздействие.

Эксперименты по биотестированию выполняли в аккредитованной лаборатории ОАО «Томскгеомониторинг» (г. Томск) при участии диссертанта при консультации зав. лабораторией Т.Д. Кириленко и аналитика Н.И. Мазуриной. Исследования проводили по утвержденным методикам (ПНД ФТ 16.2:2.2.3-98; 14.1:2:3:4.2-98) на приборе «Биотестер», на котором измеряли величину хемотаксической реакции по количеству клеток инфузорий, переместившихся по градиенту концентрации в зону измерения.

Критерием токсического действия являлось значимое различие в числе клеток инфузорий, наблюдаемых в верхней зоне кюветы в контрольной пробе (дистиллированная вода) по сравнению с данным показателем, наблюдаемым в исследуемой пробе нерастворимого осадка снега (опыт). Для эксперимента приготавливали водную вытяжку из проб нерастворимого осадка в соотношениях с дистиллированной водой: 1:75; 1:100; 1:150; 1:200; 1:250, которые затем анализировали на приборе «Биотестер» для выбора наиболее оптимальной концентрации пробы. В результате наиболее оптимальным для проведения биотестирования нерастворимого осадка снега с использованием инфузорий *Paramecium caudatum* являлась вытяжка из 100 мг нерастворимого осадка, приготовленная в соотношении 1 часть пробы на 150 частей дистиллированной воды.

Всего изучено 20 проб нерастворимого осадка снега.

Величину тест-реакции инфузорий определяли по разности показаний прибора  $I$  для контроля ( $I_k$ ) и опыта ( $I_{оп}$ ) в условных единицах. После выполнения всех эксперимента рассчитывали величину индекса токсичности ( $T$ ) по формуле 3.4.1:

$T = \frac{I_K - I_{оп}}{I_K}$	(3.4.1)
--------------------------------	---------

где  $I_K$  – величина тест-реакции для контрольной пробы;  $I_{оп}$  – величина тест-реакции для опытной пробы. По величине индекса токсичности анализируемые пробы классифицировали по степени их токсичности на 3 группы: I группа – допустимая степень токсичности ( $0 < T < 0,4$ ); II группа – умеренная ( $0,41 < T < 0,7$ ); III группа – высокая ( $T > 0,71$ ) (ПНД ФТ 16.2:2.2.3-98).

#### **Методика оценки биодоступности тяжелых металлов.**

В рамках научной стажировки в институте академии наук проведены эксперименты на модельных растворах для определения потенциальной *биодоступности* некоторых тяжелых металлов (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) в *отдельных пробах нерастворимого осадка снегового покрова*. Для эксперимента готовили модельные растворы кишечной (pH=7), желудочной (гастросок, pH=1,7) и легочной (pH=7,4) жидкостей путем последовательного экстрагирования в соответствии с методиками, опубликованных в работах (Ruby et al., 1996; Tang et al., 2006; Удачин и др., 2014). Полученный экстракт надсадочной жидкости и валовые пробы анализировали на содержание тяжелых металлов атомно-эмиссионный методом с ионизирующей в индуктивно-связанной аргонной плазме (ИСП-АЭ; приборы: АЭС спектрометры Varian 720-ES и 725-ES; аналитик: Г.Ф. Лонцакова). По результатам ИСП-АЭ биодоступные концентрации желудочной, кишечной и легочных фаз (в %) рассчитывали, как отношение содержания тяжелого металла в экстракте на валовое содержание металла в валовой пробе, умноженному на 100.

*Таким образом, диссертационная работа базируется на результатах исследования статистически значимого количества проб снегового покрова (2056 проб, суммарным весом ~35 тыс. кг снега). При личном участии автора отобраны и подготовлены по единой нормативной методике пробы с 21 урбанизированной территории юга Сибири, 113 сельских населённых пунктов Томской области и фоновых районов, пробы проанализированы современными высокочувствительными аналитическими методами в аккредитованных лабораториях ведущих центров страны и зарубежья во время выполнения полевых, камеральных и лабораторно-аналитических работ.*

#### 4. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ И СОСТАВА АЭРОЗОЛЕЙ, ОСЕВШИХ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ, НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮГА СИБИРИ

##### 4.1. Оценка уровня пылевой нагрузки на урбанизированные территории в зимний период

Установлено, что средние *величины пылевой нагрузки* на территорию городов юга Сибири изменяются от 8,7 до 199 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), которые превышают региональный фон (7 мг/(м<sup>2</sup>·сут.); Шатилов, 2001) от 1,2 до 28 раз, а в зонах техногенеза – от 38 до 1054 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), что выше фона от 5 до 150 раз. В большинстве изучаемых урбанизированных территорий формируется низкий уровень загрязнения (таблица 3.3.1) по общепринятой градации по пылевой нагрузке (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012).

Нами предложено оценивать уровень пылевой нагрузки относительно превышений над фоном, характерного для условий юга Сибири, по следующей градации: около-фоновый (<20 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)), низкий (20–60 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)), средний (60–240), высокий (240–600) и очень высокий (>600) уровень загрязнения (таблица 3.3.1). В большинстве городов и зон воздействия предприятий формируются средний (60–240 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) и высокий (240–600 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) уровни пылевой нагрузки относительно фона (таблица 4.1.1-4.1.2).

*Около-фоновый уровень* пылевой нагрузки (<20 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) характерна для малых по численности населения городов с наличием монопрофильного производства и с низкой концентрацией предприятий, расположенные на равнинной местности и в северо-таежной зоне, например, Стрежевой и Колпашево в Томской области.

*Средний уровень загрязнения относительно фона* формируется в многопрофильных промышленных городах с высокой концентрацией предприятий, относящиеся к городам-миллионникам и крупнейшим по численности населения, а также расположенные в различных ландшафтных зонах. К примеру, Красноярск (Стримжа и др., 2012), Омск, Кемерово и Томск. Средний уровень пылевой нагрузки также характерен для монопрофильных промышленных городов средней и малой величины по численности населения. Например, моногорода с угледобывающей (г. Междуреченск) и горнодобывающей промышленностью (г. Сорск), расположенные в предгорной зоне.

*Высоким уровнем загрязнения относительно фона* отличаются монопрофильные промышленные города Свирск (Холодова, 2016), Иркутск (Рогова и др., 2002) и Кызыл (Кара-Сал, 2012), расположенные в предгорной и горной зонах, а также многопрофильный город Караганда, местонахождение которого в степной зоне Центрального Казахстана (таблица 4.1.1).

Формирование уровня пылевой нагрузки в городах определяется видами функционирующих производств. Например, по результатам снегогеохимической съемки (2013–2016 гг.) на

территории города-миллионника Омска (рисунок 4.1.1), многопрофильного промышленного центра с высокой концентрацией предприятий, установлены ореолы пылевой нагрузки со средним уровнем загрязнения в районе расположения ТЭЦ.

Таблица 4.1.1. – Уровень пылевой нагрузки на территорию городов юга Сибири по результатам площадной снегогеохимической съемки

Тип города	Город	Р <sub>п</sub> , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Общепринятые градации		Градация относительно фона
			Уровень загрязнения (Геохимия..., 1990)	Уровень опасности (Касимов и др., 2012)	Уровень загрязнения
Монопрофильный с низкой концентрацией предприятий (моногород**)	Стрежевой	8,7±1,6	низкий	неопасный	около-фоновый
	Топки**	28±9,7			низкий
	Асино	99±24,9			низкий
	Сорск**	111±30,9			низкий
	Шелехов***	74			низкий
	Свирск*	281	средний	умеренно-опасный	высокий
	Кызыл*	371	средний	опасный	высокий
	Юрга**	165±33,6	низкий	неопасный	средний
	Междуреченск**	130±12,2			
	Тобольск*	32			
Многопрофильный со средней и с высокой концентрацией предприятий	Улан-Удэ*	53	низкий	низкий	низкий
	Нижевартовск*	67			средний
	Караганда	341±10,5	средний	опасный	высокий
	Кемерово	199±24,5	низкий	умеренно-опасный	средний
	Томск	79±11,5		неопасный	средний
	Барнаул*	57		низкий	низкий
	Иркутск*	300	средний	опасный	высокий
	Красноярск*	216	низкий	умеренно-опасный	средний
Омск	110±7,3	неопасный		средний	
Непромышленный	Горно-Алтайск*	46	низкий	неопасный	низкий
	Колпашево	8,8±3,8			около-фоновый

\* – литературные данные: г.Красноярск: Стримжа и др., 2012; г.Иркутск: Рогова и др., 2002; г.Кызыл: Кара-Сал, 2012; Мананков, Кара-Сал, 2013; г.Шелехов, г.Свирск: Холодова и др., 2016; Grebenshchikova et al., 2017; г.Барнаул: Хвостов, 2007; г.Горно-Алтайск: Ситникова, 2018; г.Улан-Удэ: Жамбалова, 2018; Нижевартовск: Пожитков и др., 2020; Тобольск: Тигеев и др., 2021; Московченко и др., 2021

Кроме того, на территории Омска ореолы со средним и с высоким уровнем загрязнения приходятся на окрестности Октябрьского промышленного узла, где сосредоточены предприятия нефтехимического, химического (производство технического углерода, автомобильных шин), машиностроительного комплекса (приборостроительный, ракетостроительный,

металлообработывающий). Северо-западный район города, где расположен один из крупнейших в стране нефтеперерабатывающий завод, характеризуется низким уровнем пылевой нагрузки.

Таблица 4.1.2. – Уровень пылевой нагрузки в зонах воздействия предприятий юга Сибири по результатам снегогеохимической съемки

Город	Зона воздействия предприятия	P <sub>п</sub> , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Общепринятые градации		Градация относительно фона
			Уровень загрязнения (Геохимия..., 1990)	Уровень опасности (Касимов и др., 2012)	Уровень загрязнения
Стрежевой	нефтегазодобывающее месторождение	51±33,9	низкий	неопасный	низкий
Топки**	цементный завод	1054±471	очень высокий	чрезвычайно опасный	очень высокий
Шелехов*	алюминиевый завод	358	средний	опасный	высокий
Сорск**	горно-обогатительный комбинат	142±58,9	низкий	неопасный	средний
Киселевск**	угольный разрез	466±149	средний	опасный	высокий
Искитим	цементный завод	375±95,4			
Юрга**	промзона	286±84,7			
Междуреченск**	угольный разрез	260±45,3	низкий	неопасный	средний
	угольная шахта	153±70			
Черногорск**	угольная шахта	63	низкий	неопасный	средний
Северск**	ядерно-топливный цикл	38±3,6			низкий
Павлодар	нефтеперерабатывающий завод	94±3,4	низкий	неопасный	средний
Усть-Каменогорск	промзона	60±19,8			
Новокузнецк**	металлургический комбинат	293±36	средний	опасный	высокий
Ачинск	нефтеперерабатывающий завод	36,2±5,7			
Томск	кирпичные заводы	297±31,6	низкий	неопасный	средний
	заводы по производству железобетонных конструкций и бетона	83±7,2			
	нефтехимический комбинат	54±3,3			низкий
Красноярск	алюминиевый завод	289±50,6	средний	опасный	высокий
Омск	промузел	136±19,2	низкий	неопасный	средний
	нефтеперерабатывающий завод	51±8,4			низкий

\* – Филимонова, 2017; \*\* – моногород

В среднем уровень пылевой нагрузки (110 мг/(м<sup>2</sup>·сут.); 2013–2016 гг.) на территорию Омска незначительно уменьшился по сравнению с таковым для начала 1990-х годов (149 мг/(м<sup>2</sup>·сут.);

Григорьев и др., 1999). Сохраняется при этом динамика распределения ореолов пылевой нагрузки со средним и высоким уровнем загрязнения в районах крупных промышленных производств.

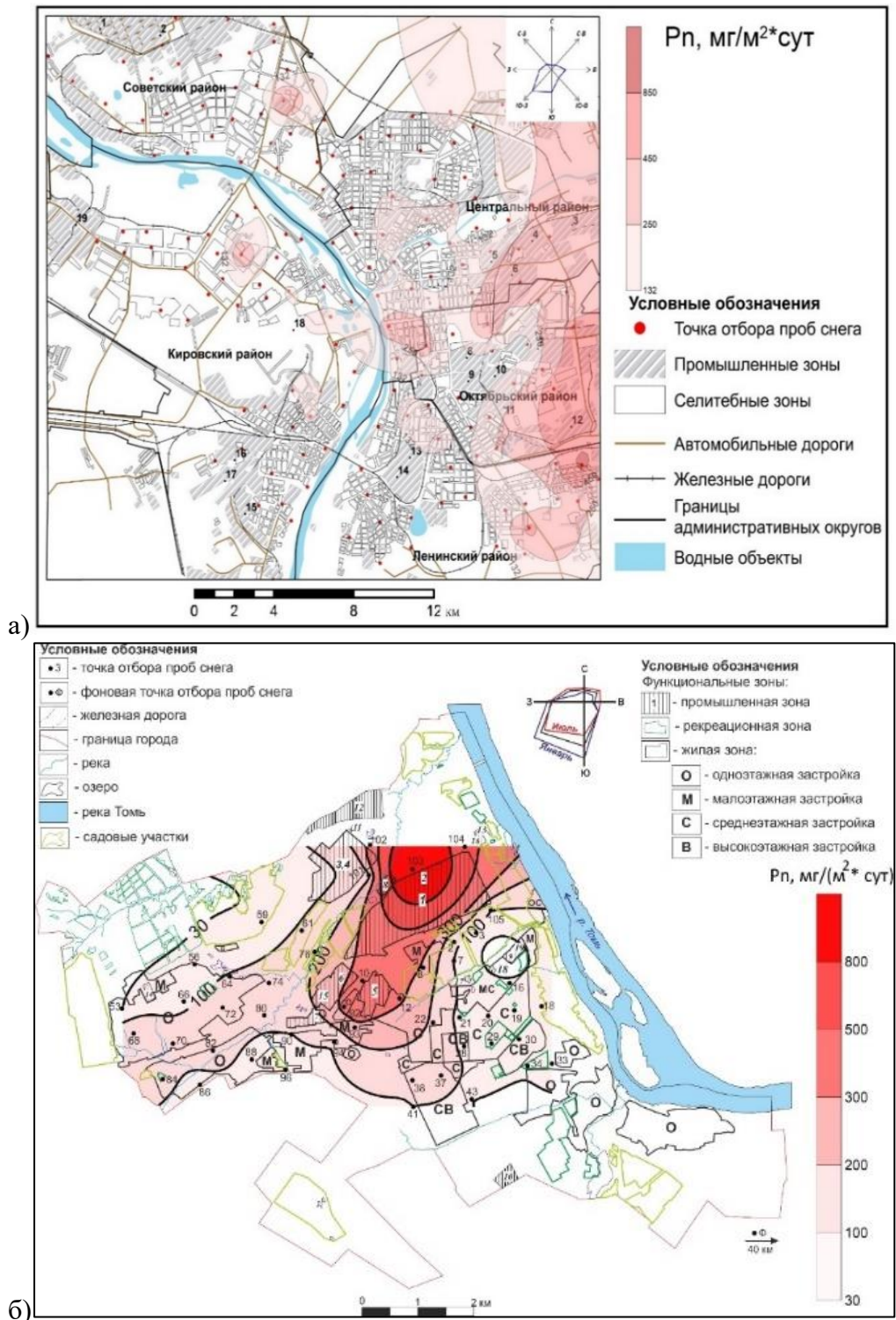


Рисунок 4.1.1. – Карта-схема распределения пылевой нагрузки на территории многопрофильного промышленного города (а) и моногорода (б) по результатам площадной снегогеохимической съемки:

а) г. Омск (1–20 – промышленные предприятия, 1 – нефтеперерабатывающий завод, 2–3 – ТЭЦ-в Центральном районе; 5–12 – Октябрьский промзона в Октябрьском районе); б) г. Юрга (предприятия промзоны (1–5): 1 – машиностроительный завод, 2 – угольная ТЭЦ, 3–5 – ферросплавный завод, 6 – завод по производству стройматериалов)

В моногородах формирование уровня пылевого загрязнения обусловлено воздействием градообразующих предприятий. Например, на территории среднего по численности населения моногорода *Юрга*, где градообразующее производство – машиностроение и ферросплавное производство, выделяется крупный ореол пылевого загрязнения, площадью около 10 км<sup>2</sup>, вытянутый от промышленной зоны в сторону жилых районов города (рисунок 4.1.1). В данном ореоле уровень пылевой нагрузки изменяется от среднего до очень высокого, а уровень экологической опасности – от умеренно-опасного до чрезвычайно опасного, что связано с комплексным воздействием функционирующих градообразующих предприятий, производств строительных материалов (минеральные изоляционные материалы) и угольной ТЭЦ.

Другой пример, в среднем по численности населения моногороде *Междуреченск* источниками формирования пылевой нагрузки, являются как локальные угольные котельные, так и дальний перенос пылевых выборов по главенствующему направлению ветра от угледобывающих предприятий и транспортировка добытого угля через территорию города. Закономерность дальнего пылевого переноса от угледобывающих предприятий отчетливо прослеживается при картографировании ореолов пылевой нагрузки, а также подтверждается результатами математического моделирования. Так, нами совместно с сотрудниками Института экологии человека СО РАН (г. Кемерово) с использованием экспериментальных данных и математического аппарата установлено, что вклад выбросов угледобывающих предприятий составляет 20–80%, а местных котельных – 30–55% в уровень пылевого загрязнения города (Осипова, Таловская и др., 2017). Средняя величина пылевой нагрузки на территорию Междуреченска уменьшилась в 2,6 раза с 1990-х годов (340 мг/(м<sup>2</sup>·сут.); Шатилов, 2001, Язиков, 2006) по 2015 год (130 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)), что связано с инфраструктурными преобразованиями в угледобывающей отрасли производства.

В различных зонах техногенеза юга Сибири определено, что *средний уровень загрязнения относительно фона* формируется под влиянием угольных шахт, например, функционирующих вблизи моногородов Черногорск и Междуреченск, добычи и обогащения цветных металлов, например, в Сорске, нефтеперерабатывающих заводов, например, в Павлодаре (таблица 4.1.2).

*Высокий уровень загрязнения* характерен для районов города, где расположены предприятия черной металлургии, например, в крупнейшем по численности населения моногороде Новокузнецке, алюминиевого производства, в частности, в городе-миллионнике Красноярске и моногороде Шелехово (Холодова и др., 2016; Филимонова, 2017). В районах функционирования угольных разрезов, например, в Киселевске и Междуреченске, производств строительных материалов, к примеру, в Томске и Искитиме, также формируется высокий уровень загрязнения. Очень высоким уровнем пылевой нагрузки относительно фона отличается зона техногенеза цементного производства в 3-х км от г. Топки, что обусловлено значительными объемами



выбросов пыли неорганической, поступающей преимущественно во время погрузо-разгрузочных работ, при разработке карьера и транспортировке сырья и продукции (Таловская и др., 2019).

В зонах техногенеза установлена закономерность снижения уровня пылевой нагрузки по мере удаления от источников выбросов по вектору основного массопереноса загрязняющих веществ. Так, в направлении от промплощадки Сорского ГОКа до 15 км от границ расчетной санитарно-защитной зоны выявлено резкое снижение пылевой нагрузки от 834 до 12,3 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), т.е. от очень высокого до низкого уровня загрязнения относительно фона. Например, в период 3-х летнего мониторинга (2013–2016 гг.) в зоне воздействия Красноярского алюминиевого завода, на расстоянии 1–2 км наблюдалась тенденция формирования высокого и очень высокого уровня пылевой нагрузки относительно фона, на дистанции 3–8 км от завода – высокого уровня. Так, в зоне воздействия угольного разреза, например, в г. Киселевск, установлен очень высокий уровень загрязнения (>600 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) в пониженной форме рельефа, на расстоянии до 2,5 км от карьера, а средний и высокий уровень – на возвышенной местности, на дистанции от 3 до 4,5 км по мере удаления от источника.

*Таким образом, по результатам исследований на урбанизированных территориях юга Сибири установлены различные уровни пылевой нагрузки относительно фона – от низкого до очень высокого, которые определяются промышленной спецификой функционирующих предприятий. Промышленный техногенез преимущественно влияет на формирование среднего (60–240 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) и высокого (240–600 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) уровней пылевой нагрузки.*

#### **4.2. Геохимическая характеристика нерастворимого осадка снегового покрова**

Урбанизированные территории юга Сибири с различными условиями техногенеза (теплоэнергетическая, нефтеперерабатывающая, металлургическая, машиностроительная, угле-нефте- и горнодобывающая, стройиндустрия) отличаются по геохимическому спектру элементов в аэрозольных частицах, осевших в снеговом покрове. Уровни концентрации широкого спектра химических элементов (редкоземельные, уран и торий, тяжёлые металлы и металлоиды, макроэлементы и др.) в нерастворимом осадке снегового покрова превышают фон в 2–140 раз (рисунок 4.2.1, таблица 4.2.1–4.2.3), а величины среднесуточного выпадения элементов на снеговой покров выше фона в 3–900 раз (таблица 4.2.4–4.2.7).

Химические элементы характеризуются различными уровнями концентрирования в пробах на изучаемых территориях, что обусловлено условиями техногенеза. Для выявления отличительных геохимических характеристик нерастворимого осадка снегового покрова в районах исследования химические элементы разделены на группы по величинам  $K_c$  и  $K_p$ .

Так, 28 химических элементов разделены на пять групп с  $K_c$ : 1) >25; 2) 15–25; 3) 5–15; 4) 1,5–5 и 5) <1,5, тогда как 59 химических элементов с  $K_c$ : 1) >10; 2) 4–10; 3) 2–4; 4) 1,5–2 и 5) <1,5. По интенсивности среднесуточного выпадения элементов с твердыми частицами над фоном 28

химических элементов распределены на семь групп с  $K_p$ : 1) >450; 2) 250–450; 3) 100–250; 4) 50–100; 5) 25–50; 6) 5–25 и 7) <5; а 59 химических элементов на шесть групп с  $K_p$ : 1) >200; 2) 100–200; 3) 50–100; 4) 25–50; 5) 5–25; 6) <5.

Таблица 4.2.1. – Уровни концентрации 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории городов юга Сибири по результатам площадной снегогеохимической съемки

Эл-т	Омск		Томск		Кемерово		Междуреченск		
	С, мг/кг	$K_c$	С, мг/кг	$K_c$	С, мг/кг	$K_c$	С, мг/кг	$K_c$	
Na*	0,6±0,03	3,8	<b>0,9±0,03</b>	<b>6,3</b>	<b>0,9±0,03</b>	<b>6,4</b>	0,5±0,02	3,3	
Ca*	1,6±0,02	1,9	1,9±0,1	2,4	1,8±0,06	2,2	1,7±0,07	2,0	
Fe*	<b>3,9±0,1</b>	<b>2,1</b>	3,5±0,1	1,9	3,4±0,1	1,9	2,7±0,07	1,5	
Hg	<b>0,2±0,004</b>	<b>2,9</b>	<b>0,173±0,01</b>	<b>2,2</b>	0,136±0,01	1,3	<b>0,297±0,01</b>	<b>3,7</b>	
As	11,8±0,9	0,6	13,7±0,7	0,7	3,0±1,0	0,3	13,5±0,7	0,7	
Zn	254±17,4	1,8	<b>639±90</b>	<b>4,6</b>	214±26,9	1,7	194±15,2	1,4	
Sb	<b>7,7±1,6</b>	<b>3,4</b>	6,8±1,0	3,0	2,9±0,5	1,5	4,6±0,9	2,0	
Co	16,3±0,5	1,6	17,6±0,9	1,7	18,7±0,8	1,9	19,9±0,4	1,9	
Cr	<b>254±24,8</b>	<b>2,3</b>	112±5,4	1,0	63,5±3,1	0,6	57,7±1,0	0,5	
Ba	967±30,4	9,7	783±55	7,8	1178±53,2	12,1	1128±45	11,3	
Sr	304±13,7	3,0	321±27,2	3,2	<b>619±30,9</b>	<b>6,4</b>	<b>601±37,1</b>	<b>6,0</b>	
Sc	<b>19,3±0,2</b>	<b>2,7</b>	9,2±0,3	1,3	14,4±0,5	2,0	11,6±0,3	1,6	
Br	<b>7,7±0,3</b>	<b>2,7</b>	2,7±0,3	0,9	0,3	0,1	1,9±0,3	0,7	
Rb	26,1±1,4	0,5	44,9±1,2	0,8	<b>92,3±4,7</b>	<b>1,7</b>	44,4±1,2	0,8	
Cs	2,2±0,1	0,6	2,9±0,1	0,8	<b>7,2±0,3</b>	<b>2,1</b>	3,1±0,1	0,9	
La	<b>138±21,3</b>	<b>49,4</b>	29,2±1,0	10,4	46,1±1,6	16,7	37,7±0,7	13,5	
Hf	<b>7,5±0,2</b>	<b>3,4</b>	4,9±0,2	2,2	6,7±0,2	3,1	5,5±0,1	2,5	
Au	0,08±0,01	0,3	0,05±0,01	0,2	0,005±0,03	0,04	0,02±0,003	0,1	
Ce	<b>98,1±4,3</b>	<b>9,5</b>	57,1±1,7	5,5	<b>85,9±2,4</b>	<b>8,4</b>	68,3±1,5	6,6	
Nd	<b>35,6±1,1</b>	<b>2,4</b>	22,2±0,8	1,5	<b>31,6±1,4</b>	<b>2,2</b>	<b>31,9±1,2</b>	2,1	
Ta	0,9±0,04	4,6	0,8±0,03	4,2	<b>1,1±0,05</b>	<b>5,6</b>	0,9±0,03	4,9	
Sm	<b>7,8±0,2</b>	<b>13,6</b>	4,4±0,2	7,7	<b>7,2±0,3</b>	<b>12,8</b>	5,9±0,1	10,4	
Eu	<b>1,9±0,03</b>	<b>1,8</b>	0,9±0,04	0,8	1,6±0,05	1,4	1,2±0,04	1,1	
Tb	<b>1,2±0,02</b>	<b>19,9</b>	0,6±0,03	10,8	0,8±0,03	14,4	<b>1,1±0,05</b>	<b>18,1</b>	
Yb	<b>4,5±0,07</b>	<b>22,4</b>	<b>2,5</b>	12,7	<b>3,6±0,1</b>	<b>18,3</b>	2,9±0,03	14,4	
Lu	<b>0,6±0,01</b>	<b>4,3</b>	0,3±0,01	2,3	<b>0,5±0,02</b>	<b>3,4</b>	0,4±0,01	2,7	
Th	8,7±0,3	3,0	6,3±0,2	2,2	<b>13,9±0,5</b>	<b>4,8</b>	9,8±0,2	3,4	
U	3,7±0,2	18,6	2,9±0,1	14,5	<b>4,9±0,2</b>	<b>25,6</b>	<b>4,4±0,1</b>	<b>21,8</b>	
n	Z <sub>c</sub>	n=235	168	n=101	89	n=22	135	n=31	115

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ; С – содержание;  $K_c$  – коэффициент концентрации относительно фона; Z<sub>c</sub> – суммарный показатель загрязнения; n – кол-во проб; \* – содержание в %

На основе комплексного анализа данных с использованием эколого-геохимических и статистических показателей установлена техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях, которая обусловлена промышленной спецификой функционирующих предприятий. В зонах техногенеза выявлены индикаторные химические элементы в нерастворимом осадке снегового покрова, характеризующие специфику воздействия производства. Элементы-индикаторы в пробах имеют значения  $K_c > 3$  и  $K_p > 5$ , а в отдельных случаях  $K_c > 25$  и  $K_p > 50$ , а также характерные уровни отношения элементов  $((La+Ce)/(Yb+Lu), Th/U)$ .

Суммарное воздействие ассоциаций элементов-загрязнителей, определяемое по  $Z_c$  и  $Z_p$ , формирует на урбанизированных территориях средний, высокий и очень высокий уровни загрязнения с опасной и очень опасной экологической ситуацией (таблица 4.2.1–4.2.3; рисунок 4.2.1). Геохимические особенности нерастворимого осадка снегового покрова, установленные в зонах воздействия предприятий, отчетливо отражаются в техногенной атмогеохимической специализации города.

Таблица 4.2.1. (Окончание)

Эл-т	Юрга		Топки		Асино		Стрежевой		Колпашево		
	С, мг/кг	$K_c$	С	$K_c$	С, мг/кг	$K_c$	С, мг/кг	$K_c$	С, мг/кг	$K_c$	
Na*	0,7±0,01	4,8	0,6	4,3	0,3±0,03	2,0	<b>0,9±0,1</b>	<b>6,0</b>	0,8±0,1	5,5	
Ca*	2,1±0,05	2,5	<b>7,4</b>	<b>9,0</b>	2,5±0,4	3,0	1,7±0,1	2,1	<b>1,7±0,1</b>	<b>2,1</b>	
Fe*	<b>4,9±0,2</b>	<b>2,6</b>	2,7	1,5	2,2±0,2	1,2	4,4±0,9	2,3	2,5±0,1	1,3	
Hg	<b>0,174±0,006</b>	<b>2,2</b>	0,1	0,6	<b>0,17±0,017</b>	<b>2,1</b>	0,074	0,9	0,103±0,016	1,3	
As	7,8±0,4	0,4	6,2	0,3	8,1±1,8	0,4	20,9±3,7	1,1	17,6±1,9	0,9	
Zn	175±17	1,3	<b>365</b>	<b>2,6</b>	219±27	1,6	292±54,4	2,1	416±55,4	3,0	
Sb	2,7±0,3	1,2	3,7	1,6	1,5±0,3	0,6	3,7±0,4	1,6	<b>5,3±0,8</b>	<b>2,3</b>	
Co	<b>31,6±1,1</b>	<b>3,1</b>	17,8	1,7	16,8±1,9	1,6	17,5±2,7	1,7	17,9±0,9	1,7	
Cr	<b>148±4,9</b>	<b>1,3</b>	82,9	0,8	56,1±5,4	0,5	113±11,9	1,0	101±13,2	0,9	
Ba	1285±27,7	12,8	697	7,0	720±95,4	7,2	633±120	6,3	547±60,8	5,5	
Sr	<b>832±27,9</b>	<b>8,3</b>	501	5,0	400±48,2	4,0	349±69,9	3,5	429±36,6	4,3	
Sc	<b>24,9±0,4</b>	<b>3,5</b>	8,4	1,2	9,1±1,0	1,3	6,5±0,6	0,9	8,6±0,3	1,2	
Br	1,5±0,2	0,5	0,3	0,1	<b>4,8±1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>6,6±1,5</b>	<b>2,3</b>	<b>5,2±0,4</b>	<b>1,8</b>	
Rb	<b>125±2,8</b>	<b>2,3</b>	42,5	0,8	37,5±3,4	0,7	40,8±3,3	0,7	40,2±3,1	0,7	
Cs	<b>8,0±0,2</b>	<b>2,3</b>	5,5	1,6	3,2±0,4	0,9	1,2±0,2	0,4	2,3±0,1	0,7	
La	<b>47,5±0,9</b>	<b>17,0</b>	33,9	12,1	31,2±3,7	11,1	22±2,2	7,9	27,8±1,3	9,9	
Hf	<b>7,3±0,2</b>	<b>3,3</b>	4,2	1,9	4,8±0,5	2,2	3,1±0,3	1,4	4,4±0,2	2,0	
Au	0,01±0,003	0,1	0,001	0,002	0,01±0,002	0,1	0,001	0,002	0,04±0,01	0,2	
Ce	<b>104±2,1</b>	<b>10,1</b>	61,3	6,0	66,5±7,6	6,5	49,9±5,1	4,9	56,6±3,4	5,5	
Nd	<b>41,6±1,6</b>	<b>2,8</b>	22,3	1,5	24,5±2,3	1,6	18,1±2,4	1,2	24,4±1,5	1,6	
Ta	<b>1,0±0,06</b>	<b>5,2</b>	0,6	3,2	0,8±0,1	3,9	0,5±0,1	2,3	0,7±0,1	3,7	
Sm	<b>8,9±0,2</b>	<b>15,6</b>	4,2	7,5	4,9±0,5	8,5	2,9±0,3	5,2	4,4±0,2	7,8	
Eu	<b>2,5±0,06</b>	<b>2,3</b>	1,0	0,9	1,0±0,1	0,9	0,5±0,05	0,5	0,9±0,1	0,9	
Tb	<b>1,5±0,06</b>	<b>25,1</b>	0,6	9,3	0,7±0,1	11,9	0,3±0,04	5,7	0,6±0,04	10,7	
Yb	<b>4,4±0,08</b>	<b>22,1</b>	2,2	10,9	2,4±0,2	12,1	1,6±0,1	8,0	2,3±0,1	11,5	
Lu	<b>0,7±0,01</b>	<b>4,6</b>	0,3	1,9	0,3±0,04	2,2	0,2±0,02	1,4	0,3±0,01	2,0	
Th	<b>15,9±0,4</b>	<b>5,5</b>	7,1	2,5	7,8±0,9	2,7	3,0±0,4	1,0	6,4±0,2	2,2	
U	<b>8,3±0,2</b>	<b>41,5</b>	3,5	17,6	<b>4,7±0,6</b>	<b>23,5</b>	1,8±0,2	8,8	3,7±0,3	18,7	
n	$Z_c$	n=47	179,0	n=4	91	n=11	92	n=14	58	n=10	84

Так, специфичный геохимический спектр в нерастворимом осадке снегового покрова на территории *многопрофильных промышленных городов* указывает на воздействие различных по промышленной специфике предприятий. Например, на территории города-миллионника *Омска*, многопрофильного промышленного центра, по результатам снегогеохимической съемки (2013–2016 гг.) установлено, что техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова связана с высоким концентрированием La ( $K_c = 49,5$ ), U, Tb, Yb ( $K_c = 15–25$ ), Sm, Ba, Ce ( $K_c = 5–15$ ) (таблица 4.2.1–4.2.2).

Таблица 4.2.2. – Коэффициенты концентрации 59 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории городов юга Сибири по результатам площадной снегогеохимической съемки

Эл-т	Омск	Томск	Кемерово	Междуреченск	Сорск	Стрежевой	Эл-т	Омск	Томск	Кемерово	Междуреченск	Сорск	Стрежевой
<b>Li</b>	1,9	1,6	<b>4,1</b>	<b>3,2</b>	2,3	0,8	<b>Sn</b>	0,3	0,6	0,2	0,2	<b>2,0</b>	0,3
<b>Be</b>	1,9	1,4	2,1	2,5	4,8	1,2	<b>Sb</b>	<b>2,3</b>	1,7	0,6	0,8	1,0	1,1
<b>Na</b>	1,0	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>	1,0	<b>5,5</b>	<b>2,2</b>	<b>Cs</b>	1,0	1,5	<b>4,0</b>	1,8	0,9	0,5
<b>Mg</b>	1,6	2,5	3,3	3,5	4,1	4,8	<b>Ba</b>	3,1	2,9	3,5	<b>5,0</b>	<b>5,7</b>	3,8
<b>Al</b>	<b>4,9</b>	2,1	<b>3,5</b>	2,9	<b>4,5</b>	1,6	<b>La</b>	<b>9,3</b>	1,7	2,6	2,6	<b>4,4</b>	1,7
<b>Si*</b>	2,6	2,3	2,5	2,0	<b>4,9</b>	2,4	<b>Ce</b>	<b>3,0</b>	1,7	2,6	2,5	<b>5,0</b>	1,3
<b>P</b>	<b>1,6</b>	1,0	0,8	<b>1,8</b>	1,5	0,8	<b>Pr</b>	<b>3,5</b>	1,7	2,8	2,6	<b>4,5</b>	1,1
<b>K</b>	0,8	1,8	3,3	1,5	<b>4,7</b>	1,6	<b>Nd</b>	<b>2,7</b>	1,6	2,8	2,5	<b>3,9</b>	1,1
<b>Sc</b>	<b>2,9</b>	1,8	н.о.	1,6	н.о.	н.о.	<b>Sm</b>	<b>2,8</b>	1,6	<b>2,6</b>	2,4	<b>4,5</b>	1,0
<b>Ti</b>	<b>3,4</b>	2,2	2,5	2,2	<b>3,2</b>	1,4	<b>Eu</b>	<b>3,5</b>	1,8	2,7	2,4	<b>6,2</b>	1,3
<b>V</b>	<b>5,2</b>	3,4	1,3	<b>3,8</b>	0,6	<b>3,6</b>	<b>Gd</b>	<b>3,1</b>	1,6	2,8	2,6	2,8	1,1
<b>Cr</b>	<b>3,6</b>	1,7	1,0	1,1	0,8	1,8	<b>Tb</b>	<b>3,1</b>	1,6	2,7	2,4	<b>3,7</b>	1,0
<b>Mn</b>	2,5	2,4	2,2	1,2	<b>6,0</b>	2,5	<b>Dy</b>	<b>3,1</b>	1,5	<b>2,8</b>	2,3	<b>4,0</b>	0,9
<b>Fe</b>	2,2	2,3	2,3	1,8	<b>3,4</b>	2,8	<b>Ho</b>	<b>3,2</b>	1,5	2,6	2,3	1,9	0,9
<b>Co</b>	2,0	2,5	2,7	<b>3,0</b>	<b>6,5</b>	<b>4,4</b>	<b>Er</b>	<b>3,4</b>	1,5	2,8	2,4	1,4	0,8
<b>Ni</b>	1,8	<b>3,4</b>	2,8	<b>3,8</b>	0,1	3,2	<b>Tm</b>	<b>3,4</b>	1,7	2,9	2,3	2,9	0,8
<b>Cu</b>	1,1	<b>3,1</b>	0,7	1,0	<b>5,8</b>	<b>3,5</b>	<b>Yb</b>	<b>3,6</b>	1,6	<b>3,1</b>	2,3	2,7	0,9
<b>Zn</b>	2,2	<b>5,8</b>	1,2	1,5	2,0	1,6	<b>Lu</b>	<b>3,7</b>	1,6	3,0	2,4	2,1	1,1
<b>Ga</b>	<b>2,5</b>	1,4	2,0	2,0	2,5	1,0	<b>Hf</b>	<b>3,5</b>	1,7	<b>3,6</b>	2,6	<b>6,4</b>	0,7
<b>Ge</b>	2,3	2,4	2,5	2,5	0,7	1,8	<b>Ta</b>	1,8	1,8	2,3	2,2	2,1	1,2
<b>As</b>	1,5	<b>2,6</b>	н.о.	1,9	0,8	<b>6,9</b>	<b>W</b>	<b>2,0</b>	<b>6,1</b>	0,7	1,2	<b>2,0</b>	1,3
<b>Se</b>	1,0	0,8	0,4	1,0	0,3	<b>2,5</b>	<b>Hg</b>	<b>2,9</b>	2,3	1,8	<b>3,9</b>	1,2	0,9
<b>Rb</b>	0,7	1,6	<b>3,6</b>	1,5	0,7	1,1	<b>Tl</b>	1,1	1,8	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>	<b>5,6</b>	0,6
<b>Sr</b>	2,5	2,8	<b>5,1</b>	<b>6,4</b>	<b>6,4</b>	<b>5,0</b>	<b>Pb</b>	<b>3,1</b>	1,2	0,4	0,5	0,8	0,7
<b>Y</b>	<b>3,3</b>	1,6	<b>2,8</b>	2,4	<b>2,8</b>	1,2	<b>Bi</b>	0,6	<b>2,4</b>	1,4	0,7	2,4	<b>2,9</b>
<b>Zr</b>	<b>3,4</b>	1,7	<b>2,8</b>	2,7	<b>4,1</b>	0,9	<b>Th</b>	1,9	1,5	<b>3,1</b>	2,5	<b>4,4</b>	0,6
<b>Nb</b>	1,7	1,6	1,9	<b>2,5</b>	<b>2,6</b>	1,0	<b>U</b>	1,8	1,6	<b>2,9</b>	3,3	<b>3,9</b>	1,0
<b>Mo</b>	2,4	<b>4,2</b>	1,4	2,9	<b>5,7</b>	3,9	<b>Ca</b>	1,6	н.о.	н.о.	н.о.	4,7	3,2
<b>Ag</b>	0,3	0,3	0,2	0,3	<b>1,1</b>	0,6	<b>Zc</b>	92	60	78	74	134	60
<b>Cd</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	1,0	1,4	<b>5,7</b>	1,4	<b>n</b>	74	51	11	10	12	4
<b>In</b>	<b>2,2</b>	0,9	0,5	0,7	н.о.	н.о.							

метод ИСП-МС, Hg – метод ААСМ; Zc – суммарный показатель загрязнения; n – кол-во проб; жирный шрифт – высокие значения относительно других городов

Таблица 4.2.3. – Коэффициенты концентрации 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зонах воздействия промышленных предприятий юга Сибири

Предприятие	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Na	2,6	<b>5,0</b>	<b>6,3</b>	11,0	3,5	2,0	3,2	2,4	2,7	0,3	0,9	0,7	<b>5,6</b>	3,6	2,9	3,0	<b>11,5</b>	<b>6,7</b>
Ca	1,9	2,7	1,9	16,2	1,4	1,5	1,0	1,1	1,1	0,7	<b>28,5</b>	<b>24,4</b>	2,1	<b>3,3</b>	2,7	2,8	2,4	1,5
Fe	2,0	<b>2,8</b>	2,6	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	0,9	1,0	1,0	1,1	1,7	<b>2,0</b>	1,1	<b>5,6</b>	2,1	1,0
Hg	2,4	1,9	2,6	1,0	<b>6,1</b>	<b>3,9</b>	<b>5,2</b>	2,3	<b>5,8</b>	н.о.	0,3	<b>8,2</b>	1,1	2,7	н.о.	3,5	н.о.	0,2
As	0,3	0,4	0,9	0,4	0,6	0,3	0,5	0,5	0,5	1,0	0,2	0,7	0,4	0,6	0,6	0,5	<b>3,1</b>	0,5
Zn	1,2	1,1	3,5	1,5	<b>5,9</b>	1,6	1,2	1,1	1,4	н.о.	1,0	<b>5,5</b>	1,7	<b>2,9</b>	1,2	<b>6,4</b>	<b>86,1</b>	0,8
Sb	0,9	0,9	<b>3,0</b>	0,7	0,9	1,3	0,4	<b>2,0</b>	0,9	<b>6,4</b>	0,6	<b>3,7</b>	1,0	2,1	1,3	1,2	<b>19,0</b>	1,0
Co	1,4	<b>3,0</b>	2,1	1,3	1,4	1,1	1,5	1,7	1,7	<b>3</b>	0,6	0,9	1,4	1,8	1,2	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>	0,6
Cr	0,8	<b>1,4</b>	<b>5,1</b>	0,7	<b>21,6</b>	1,1	0,5	0,4	0,5	<b>3,3</b>	0,4	0,6	0,9	0,8	0,3	1,4	1,2	0,5
Ba	9,3	<b>12,9</b>	<b>12,5</b>	3,8	10,5	6,0	6,4	7,6	8,1	1,8	1,1	1,1	5,1	6,4	4,7	9,9	7,5	3,1
Sr	3,0	<b>8,3</b>	4,0	5,3	2,2	2,1	1,7	3,3	3,9	0,3	3,1	1,8	1,7	3,0	<b>6,4</b>	8,0	3,2	1,8
Sc	<b>2,9</b>	<b>3,6</b>	<b>2,5</b>	0,7	1,9	1,0	1,4	1,2	1,2	1,5	0,5	0,7	1,6	1,3	0,6	1,7	<b>2,4</b>	0,7
Br	2,4	0,2	<b>3,4</b>	1,2	<b>3,0</b>	<b>2,0</b>	0,6	0,6	1,2	<b>2,0</b>	0,1	0,6	0,7	1,3	0,8	0,3	0,7	1,9
Rb	0,3	<b>2,4</b>	0,8	0,6	0,6	0,7	1,0	0,5	0,8	1,0	0,3	0,2	1,2	0,8	0,2	1,1	1,0	0,9
Cs	0,5	<b>2,5</b>	1,1	0,6	0,7	0,9	1,1	0,6	0,7	<b>2,0</b>	0,8	0,7	1,0	0,8	0,1	1,0	0,8	0,4
La	16,0	<b>17,0</b>	<b>142</b>	4,5	16,5	10,9	12,2	11,0	10,0	1,0	3,3	2,9	10,7	11,3	3,3	14,2	9,4	4,3
Hf	3,4	3,2	<b>3,9</b>	0,7	2,1	2,3	2,7	2,5	2,4	1,0	0,6	0,5	3,2	2,3	0,7	3,2	1,7	1,3
Au	0,1	0,01	<b>1,2</b>	1,8	0,4	1,4	0,04	0,1	0,2	0,3	0,002	0,1	0,1	0,1	0,01	0,2	<b>1,5</b>	0,3
Ce	7,5	10,5	<b>16,7</b>	2,8	5,2	6,3	6,2	5,3	5,3	0,9	2,0	2,0	6,3	6,2	2,2	8,2	5,1	3,1
Nd	2,1	<b>3,0</b>	<b>3,4</b>	0,9	1,5	1,7	2,0	1,7	1,7	н.о.	0,6	0,5	1,6	1,8	0,6	2,0	1,7	0,9
Ta	4,4	4,8	<b>7,1</b>	1,8	3,1	5,2	<b>5,7</b>	<b>5,5</b>	3,6	1,3	1,0	0,7	4,6	4,7	1,3	6,3	<b>19,4</b>	2,0
Sm	13,9	<b>16,1</b>	<b>16,2</b>	4,2	<b>13,3</b>	8,4	9,5	8,5	9,2	0,8	3,0	2,8	9,2	8,6	2,9	9,8	9,8	4,4
Eu	1,9	<b>2,4</b>	1,6	0,5	1,1	0,8	1,0	0,8	0,9	0,6	0,3	0,4	1,1	1,0	0,4	1,0	1,4	0,5
Tb	20,8	<b>24,6</b>	<b>19,7</b>	4,6	10,7	10,9	17,9	15,8	11,1	1,0	3,3	4,7	13,9	13,6	4,6	12,9	17,3	6,2
Yb	<b>24,1</b>	<b>23,1</b>	<b>23,7</b>	4,7	13,9	12,1	15,1	13,4	11,1	1,0	5,1	4,8	14,8	13,2	5,6	13,5	<b>16,6</b>	7,1
Lu	<b>4,7</b>	<b>4,8</b>	<b>4,2</b>	1,3	2,0	1,6	2,8	2,4	2,7	1,0	0,8	0,9	2,1	1,8	1,0	2,9	2,4	1,2
Th	2,9	<b>5,6</b>	4,3	0,9	1,8	3,2	3,1	2,4	2,6	1,6	0,9	0,6	2,8	2,8	0,8	3,7	1,8	1,0
U	15,6	<b>43,8</b>	<b>29,1</b>	11,9	10,9	<b>19,5</b>	<b>20,7</b>	<b>17,9</b>	<b>17,3</b>	1,4	6,5	3,1	13,7	19,1	5,7	<b>22,7</b>	<b>36,7</b>	6,5
Z <sub>c</sub>	126	183	300	63	117	84	81	13	81	13	48	54	85	94	34	124	242	39

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ; жирный шрифт – высокие значения; 1–18 – предприятия в городах (1–2 – промузел с предприятиями машиностроения и металлообработки: 1 – Омск, 2 – Юрга; 3–5 – нефтеперерабатывающие заводы: 3 – Омск, 4 – Ачинск, 5 – Павлодар; 6 – нефтехимический комбинат в г. Томск; 7–10 – угледобывающие предприятия: 7 – угольный разрез в 10 км от Междуреченска; 8 – угольная шахта в 3 км от Междуреченска, 9 – угольный разрез в г. Киселевск; 10 – угольная шахта в г. Черногорск; 11–14 – производство строительных материалов: 11 – цементный завод в 3-х км от г. Топки, 12 – цементный завод в г. Искитим; 13 – кирпичные заводы в г. Томск; 14 – заводы по производству железобетонных конструкций в г. Томск; 15–17 – металлургические предприятия: 15 – алюминиевый завод в г. Красноярск, 16 – металлургический комбинат в г. Новокузнецк, 17 – промзона в г. Усть-Каменогорск; 18 – нефтегазодобывающее предприятие недалеко от г. Стрежевой)

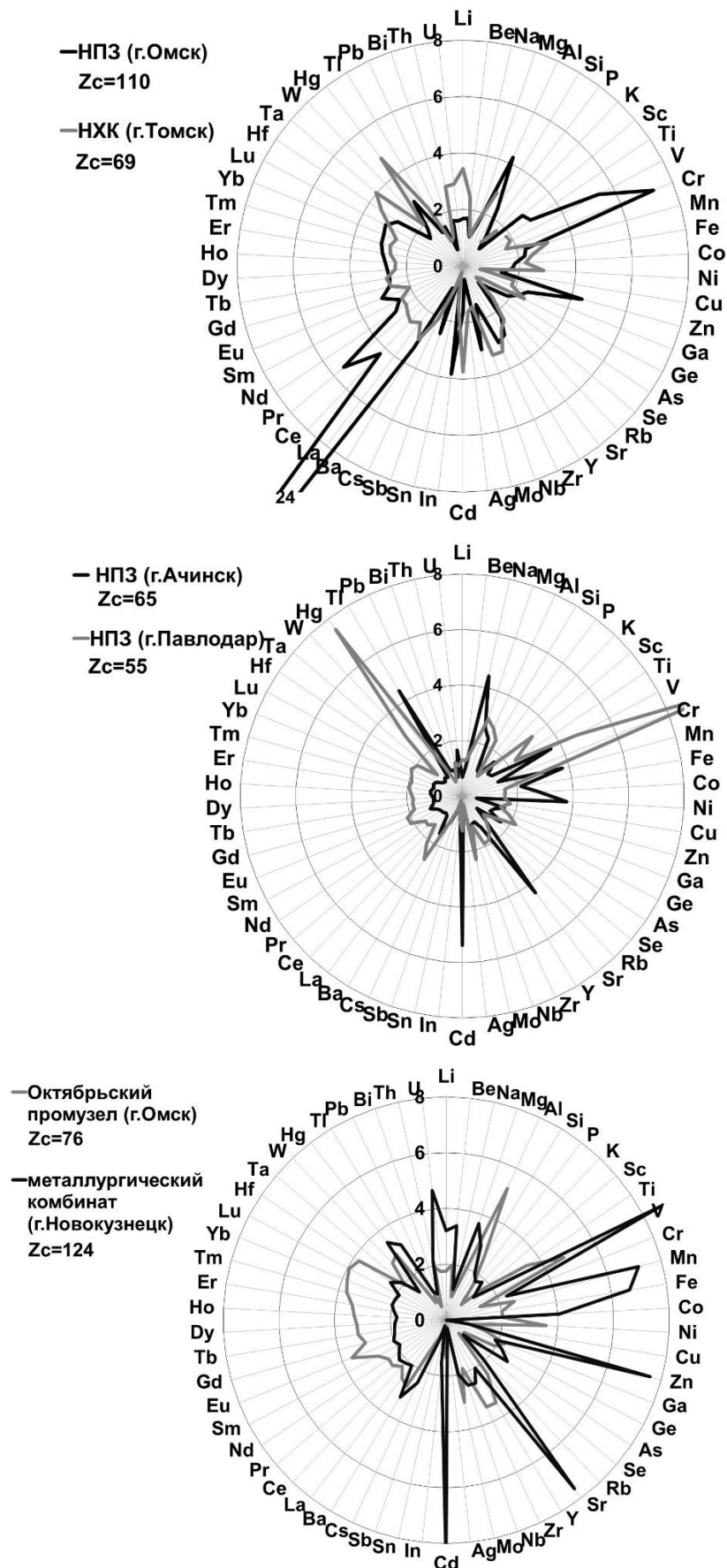


Рисунок 4.2.1. – Коэффициенты концентрации 59 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия промышленных предприятий юга Сибири (метод ИСП-МС, Hg – метод ААСМ; Z<sub>c</sub> – суммарный показатель загрязнения)

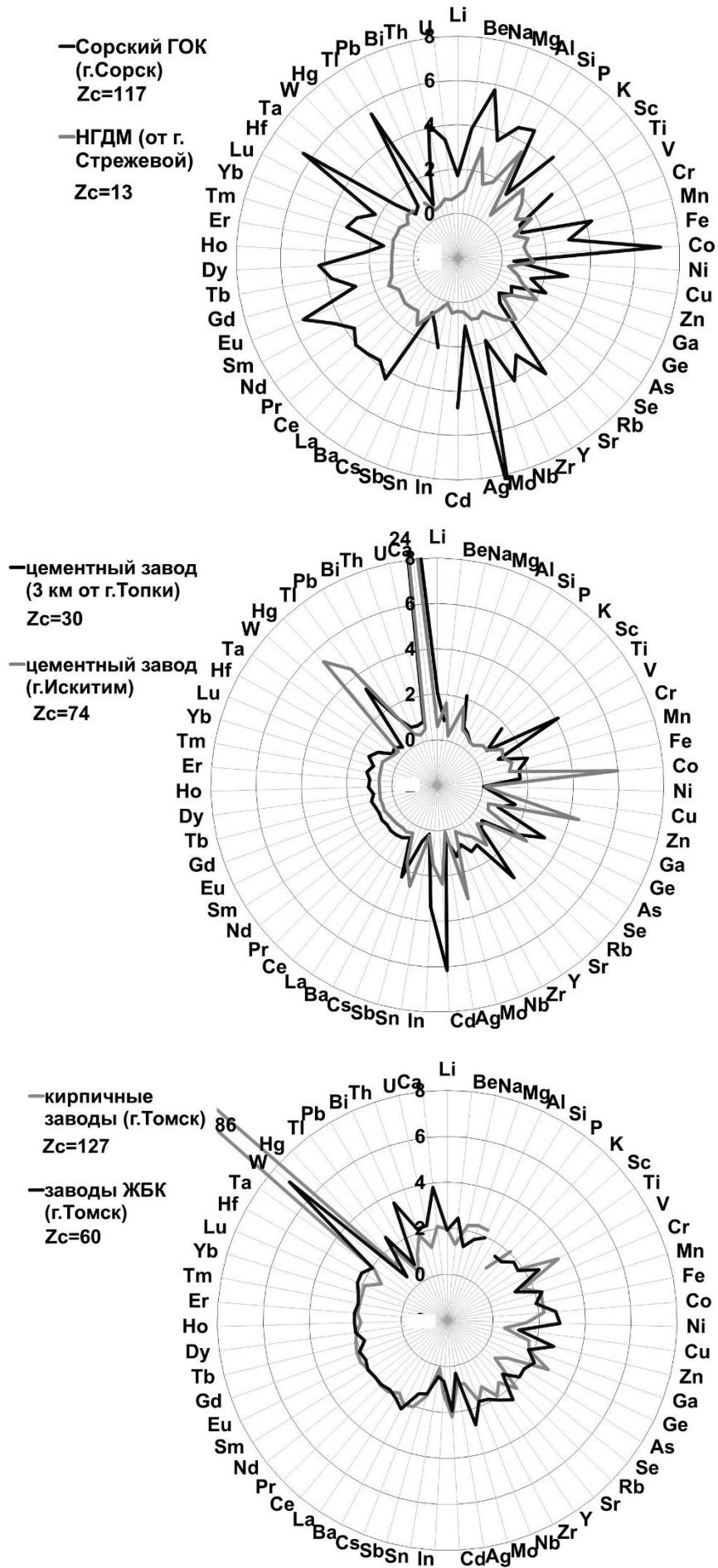


Рисунок 4.2.1. (Окончание)

Таблица 4.2.4. – Геохимические ряды превышения среднесуточных выпадений 28 химических элементов над фоном ( $K_p$ ) на территории городов юга Сибири

Город	Ряды химических элементов по $K_p$							$Z_p$
	450–900	250–450	100–250	50–100	25–50	5–25	3–5	
Омск	La	U, Tb, Yb	Ba, Ce, Ta, Lu, Sm	Na, Hf	Ca, Fe, Sb, Sr, Sc, Br, Nd, Eu, Th	Hg, As, Zn, Co, Rb, Cs	Au	2827
Томск	–	–	La, Tb, Yb, U	Na, Ce, Ta, Sm, Lu	Ca, Zn, Ba, Sr, Hf, Th	Fe, Hg, As, Sb, Co, Cr, Sc, Br, Rb, Cs, Nd, Eu	Au	1285
Кемерово	U, La	Ba, Ta, Sm, Tb, Yb	Na, Sr, Rb, Ce, Lu	Ca, Fe, Sc, Cs, Hf, Nd, Th	Hg, Zn, Sb, Co, Eu	As, Cr	Au, Br	4657
Юрга	U, Tb, Yb	Ba, La, Sm	Na, Sr, Ce, Ta, Lu, Th	Ca, Fe, Co, Sc, Rb, Cs, Nd, Eu	Zn, Cr	Hg, As, Sb, Br	Au	5088
Междуреченск	–	La, Tb, Yb, U	Ba, Sr, Ce, Ta, Sm, Lu	Na, Th	Ca, Fe, Hg, Zn, Sb, Co, Sc, Hf, Nd	As, Cr, Br, Rb, Cs, Eu	Au	2799
Топки	–	–	–	Ca, U	La, Sm, Tb, Yb	Na, Fe, Zn, Sb, Co, Ba, Sr, Cs, Hf, Ce, Nd, Ta, Lu, Th	Hg, As, Cr, Sc, Br, Rb, Au, Eu	131
Асино	–	U	Ba, La, Ta, Sm, Tb, Yb	Ca, Sr, Ce, Lu	Na, Zn, Hf, Nd, Th	Fe, Hg, As, Sb, Co, Cr, Sc, Br, Rb, Cs, Eu, Th	Au	134
Стрежевой	–	–	–	–	–	Na, Ba, Sr, La, Ce, Ta, Sm, Tb, Yb, U	Ca, Fe, Hg, As, Zn, Sb, Co, Cr, Sc, Br, Rb, Cs, Hf, Au, Nd	113
Колпашево	–	–	–	–	U	Ta, Sm, Na, Yb, Tb, Ba, Sr, La, Lu	Ca, Fe, Hg, As, Zn, Sb, Co, Cr, Hf, Au, Nd, Sc, Br, Rb, Cs, Eu	134

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ;  $Z_p$  – суммарный показатель нагрузки



Таблица 4.2.5. – Геохимические ряды превышения среднесуточных выпадений 59 химических элементов над фоном ( $K_p$ ) на территории городов юга Сибири

Город	Ряды химических элементов по $K_p$						$Z_p$
	250–450	100–250	50–100	25–50	5–25	3–5	
Омск	–	La, V, Al	Si, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Ba, PPЗЭ*	Li, Be, Ba, P, Cr, Co, Ni, Zn, As, Nb, Mo, Cd, In, Sb, Ta, W, Pb, Th, U, Ca	Na, K, Cu, Se, Rb, Ag, Sn, Cs, Tl, Bi	–	3053
Томск	–	–	Zn, Mo, W	Na, Mg, Al, Si, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, As, Sr, Zr, Tl, Bi, Th, U, PPЗЭ*	Li, Be, P, Se, Cd, In, Sn, Sb, Pb, Hg	Ag	1448
Кемерово	Sr	Li, Be, Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Th, U, PPЗЭ*	Zn, V, Cr, Nb, Mo, Cd, Bi	P, Cu, In, Sb, W, Hg	Se, Ag, Sn, Pb	–	6513
Междуреченск		Sr, Mg, V, Ni, Ba, U	Li, Be, Al, Si, P, Ti, Fe, Co, Mo, Tl, Th, As, PPЗЭ*	Na, K, Se, Cr, Mn, Cu, Zn, Se, Rb, Cd, In, Sb, Hg, W	Sn, Pb, Bi	Ag	3829
Сорск	Mo, Cu, Al, Si, Mn, Co, Be, Ba, La, Ce, Pr, Sm, Hf, Eu, Tl	Na, K, Ti, Fe, Zn, Sr, Y, Cd, Gd, Tb, Ho, Tm, Yb, Lu, Bi, Mg, Zr, U, Th	P, Sn, Sb, Hg	Li, V, Cr, Ge, As, Rb, Er, Ta, W, Pb	Se, Ag, Cs	Ni	8385
Стрежевой	–	–	–	–	Na, Mg, Si, V, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, Ba, Bi	Li, Be, Al, P, K, Ti, Cr, Zn, Zr, W, Th, U, Ca, PPЗЭ*	168

\* – PPЗЭ это группа редких элементов, включая редкоземельные, в изучаемом спектре химических элементов методом ИСП-МС; Hg – метод ААСМ;  $Z_p$  – суммарный показатель нагрузки

Таблица 4.2.6. – Геохимические ряды превышения среднесуточных выпадений 28 химических элементов над фоном ( $K_p$ ) в зоне воздействия промышленных предприятий юга Сибири

Город	Промышленный объект	Ряды химических элементов по $K_p$							$Z_p$
		450–900	250–450	100–250	50–100	25–50	5–25	3–5	
Омск	Нефтеперерабатывающий завод	La	–	Ta, Sm, Tb, Yb, U	Ba, Lu	Na, Cr, Sr, Br, Hf, Nd, Th	Ca, Fe, Hg, As, Zn, Sb, Co, Sc, Rb, Cs, Au, Eu	–	2338
	Промузел (машиностроение, металлообработка и др.)	Tb, Yb	La, Sm, U	Ba, Ce, Ta, Lu	Na, Sr, Hf, Nd, Th, Sc	Ca, Fe, Hg, Zn, Co, Br, Eu	As, Sb, Cr, Rb, Cs	Au	3795
Томск	Нефтехимический комбинат	–	–	U	La, Ta, Sm, Tb, Yb	Ba, Ce, Lu	Na, Ca, Fe, Hg, Zn, Sb, Co, Cr, Sc, Br, Cs, Hf, Au, Nd, Eu, Th	As, Rb	702
	Заводы ЖБК	–	–	La, Ta, Tb, Yb, U	Na, Ba, Ce, Lu	Ca, Zn, Sr, Hg, Th	Fe, Hg, As, Co, Br, Rb, Cs, Nd	Au	1471
	Кирпичные заводы	U, Tb, Yb	Na, La, Ce, Ta, Sm, Lu	Ba, Hf, Th	Ca, Fe, Zn, Co, Sr, Sc, Nd	Hg, Sb, Cr, Br, Rb, Cs, Eu	As	Au	4570
Стрежевой	Нефтегазодобывающее предприятие	–	–	–	Na, Tb, Yb	Ba, La, Sm, Ta, U	Ca, Fe, Sb, Sr, Sc, Br, Rb, Hf, Ce, Nd, Lu, Th	As, Zn, Co, Hg, Cr, Cs, Au, Eu	523
Юрга	Промзона (машиностроение, ферросплавное и др.)	Ba, La, Sm, Tb, Yb, U (1700)	Sr, Ce, Ta, Lu	Na, Ca, Fe, Co, Sc, Hf, Nd, Tb	Cr, Rb, Cs, Eu	Hg, Zn, As	Br	Au	8817
Новокузнецк	Металлургический комбинат	La, Ta, Tb, Yb, U	Zn, Ba, Sr, Ce, Sm, Lu	Na, Ca, Fe, Hf, Nd, Th	Hg, Co, Cr, Sc	As, Sb, Rb, Cs, Eu	Br, Au	–	6685
Красноярск	Алюминиевый завод	–	Sr	Na, Ca, Ba, La, Sm, Tb, Yb, U	Zn, Sb, Co, Ce, Lu	As, Sc, Br, Hf, Nd, Th	Cr, Rb, Cs, Eu	Fe, Au	2334
Междуреченск	Угледобывающие предприятия	Tb, Yb, U	La, Ta, Sm	Na, Ba, Ce, Lu, Th	Hg, Co, Hf, Nd	Ca, Fe, Zn, Sr, Sc, Rb, Cs, Eu	As, Sb, Cr, Br	Au	4704 (2459)

Таблица 4.2.6 (Окончание)

Город	Промышленный объект	Ряды химических элементов по $K_p$							$Z_p$
		450–900	250–450	100–250	50–100	25–50	5–25	<5	
Киселевск	Угледобывающие предприятия	Ba, La, Sm, Tb, Yb, U (1150)	Hg, Sr, Ce, Ta, Zn	Zn, Co, Hf, Nd, Th	Na, Ca, Fe, Sb, Sc, Br, Eu	As, Cr, Rb, Cs	–	Au	6963
Черногорск		–	–	–	–	Sb, Cr, Co	Sm, Lu, U, Yb, As, Br, La, Ce, Tb, Th, Hf, Ba, Cs, Sc, Rb, Fe, Ta	Ca, Au, Na, Sr, Eu	216
Топки	Цементный завод	Ca (4400), Sr, Tb, Yb, U	La, Ta, Sm	Na, Fe, Zn, Ba, Ce, Lu, Th	Cs, Co, Hf, Sc, Na	As, Sb, Cr, Rb, Eu	Hg	Au	9556
Искитим		Ca (1300)	–	Hg, Zn, Sb, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, U	Fe, Co, Sr, Ta	Na, As, Cr, Ba, Sc, Sc, Nd, Th	Br, Rb, Hf, Eu	Au	3914
Ачинск	Нефтеперерабатывающий завод	–	–	–	Ca, U	Na, Sr, Nd, Tb	Fe, Zn, Co, Ba, La, Au, Ce, Ta, Sm, Yb, Lu	Hg, As, Sb, Cr, Cs, Br, Rb, Cs, Hf, Eu, Th	435
Павлодар	Нефтеперерабатывающий завод	–	Cr	Ba, La, Sm, Tb, Yb, U	Na, Hg, Zn, Ce, Ta, Lu	Ca, Fe, As, Sb, Co, Sr, Sc, Br, Cs, Hf, Th	Rb, Au, Nd, Eu	–	2075
Усть-Каменогорск	Промузел (металлургические заводы)	Zn	Ta	Na, Sb, Tb, Yb, U	Ba, La, Sm, Lu	Sr, Ce	Ca, Fe, As, Co, Cr, Sc, Rb, Cs, Hf, Au, Nd, Eu, Th	Br	2400

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ; фон – опубликованные данные (Шатилов, 2001; Язиков, 2006); для As, Nd, Hg, Zn – данные автора;  $Z_p$  – суммарный показатель нагрузки

Таблица 4.2.7. – Геохимические ряды превышения среднесуточных выпадений 59 химических элементов над фоном ( $K_p$ ) в зоне воздействия промышленных предприятий юга Сибири

Город	Промышленный объект	Ряды химических элементов по $K_p$						$Z_p$
		200–450	100–200	50–100	25–50	5–25	3–5	
Омск	Нефтеперерабатывающий завод	La	–	Al, V, Cr, Pr	Si, Ti, Mn, Zn, Sr, Mo, Ba, PP3Э*	Li, Be, Na, Mg, P, K, Fe, Co, Ni, Cu, As, Se, Rb, Cd, Cs, Sb, Ta, W, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U, Ca	Sn	1712
	Промузел (машиностроение, металлообработка и др.)	–	Al, V, Lu	Si, Ti, Mn, Be, Fe, Co, Ni, Sr, Mo, Ba, W, Th, PP3Э*	Li, Mg, P, Se, Nb, Cd, In, U, Hg	Na, K, Cr, Cu, As, Rb, Ag, Sb, Cs, Tl, Pb, Bi, Ca	Sn	3269
Томск	Нефтехимический комбинат	–	–	–	Li, Ni, Zr, Nb, Hf, Ta, Th, U	Be, Na, Mf, Al, P, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Ba, W, Hg, Tl, Pb, Bi, PP3Э*	Ag, Sn	976
	Заводы ЖБК	–	–	W, Bi	V, Mn, Co, Ni, Zn, Ge, Sr, Mo, Ba	Li, Be, Na, Mg, Al, P, K, Ti, Cr, Fe, Cu, As, Cd, Pb, Sn, Hg, U, Th, PP3Э*	–	1121
	Кирпичные заводы	W, V	Li, Na, Mg, Al, K, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Tl, Th, PP3Э*	Be, Cr, As, Se, Sr, Mo, Nb, Cd, Hf, Bi, U	–	Ag, Sn	–	11374
Стрежевой	Нефтегазодобывающее предприятие	–	–	Na, Si, K, W, Ca	Al, Ni, Ge, Rb, Sr, Ba	Li, Be, Mg, P, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Zr, Mo, Cd, Tl, Bi, Th, U, PP3Э*	Sn, Sb, Pb	1088
Новокузнецк	Металлургический комбинат	Fe, Mn, Co, Zn, Cd, V, U, Ca, Sr	Li, Be, Mg, Al, Si, K, Ti, Cr, As, Th, PP3Э*	Na, P, Sc, In, W, Hg, Pb, Bi	Ce, Se, Sb	Ag, Sn	Ni	8358

Таблица 4.2.7 (Окончание)

Город	Промышленный объект	Ряды химических элементов по $K_p$						$Z_p$
		200–450	100–200	50–100	25–50	5–25	3–5	
Топки	Цементный завод	Tl, Zr, Li, Mg, Sc, V, Mn, Fe, Co, Zn, Ge, As, Sr, Cd (1100), In, Cs	Al, Si, Ti, Cr, Cu, Sb, Ba, Pb, Bi, Th, U, Be	Se, Ag	Sn, Ta	P, Hg	Ni	13492
Искитим		Ca (4500), Co, Zn, As, Mo, Sb, Tl	Mg, Mn, V, Be, Fe, Sr, Cd, In, Cs, Hg, Pb	Li, Al, Si, Sc, Ti, Cr, Cu, Se, Y, Lu, U	P, K, Zr, Ba, Bi, Th, PP3Э*	Na, Ni, Nb, Ag, Sn, W	–	9435
Ачинск	Нефтеперерабатывающий завод	–	–	Tl	Na, V, Mn, Sr, Cd	Mg, Al, Si, Be, P, K, Sc, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sb, Ba, W, Pb, Bi, Th, U, PP3Э*	Li, Cu, Hg	867
Павлодар		Cr	Sc, V	Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Mn, Fe, Co, Sr, Mo, Ba, W, Hg, PP3Э*	Li, Be, P, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Nb, Cd, In, Cs, Ce, Ta, Tl, Th, U	Ag, Sn, Pb, Bi	–	3421
Сорск	ГОК	Mo, Cu, Na, Mg, Al, Si, Mn, Fe, Co, Be, Zr, Ba, Tl, T, U, PP3Э*	K, Ti, Zn, Sr, Y, Cd, Gd, Ho, Tm, Yb, Lu, Bi, Ca	As, Nb, Li, P, Ga, Ge, Sn, Ta	V, Cr, Ag, Sb, Er, W, Hg, Pb	Ni, Cs	–	9553

\* – PP3Э это группа редких элементов, включая редкоземельные, в изучаемом спектре химических элементов методом ИСП-МС; Hg – метод ААСМ;  $Z_p$  – суммарный показатель нагрузки

Меньшие значения  $K_c$  характерны для Al, Ti, V, Cr, Y, Zr, Ba, Pr, Pb (2–5); Li, Be, Co, Ni, Cd, Zn, As, Sr, Sb, Mo, W, Hg, Br, Th, макроэлементов (Na, Ca, Fe, Si, P, Mg, Mn) и широкого спектра редких элементов (1,5–3). Аномально высокие значения  $K_p$  определены для La (524), а группы с  $K_p$  250–450 ед. составляют U, Tb, Yb, с  $K_p$  100–250 – Ba, Ce, Ta, Lu, Sm, V, Al, а с  $K_p$  50–100 ед. – Si, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Ba, РЗЭ (таблица 4.2.4–4.2.5).

В Омске определён высокий уровень загрязнения с чрезвычайно-опасной экологической ситуацией по величине суммарного показателя загрязнения 28 химическими элементами. Средний уровень загрязнения с очень высоким уровнем экологической опасности формируется за счет концентрирования 59 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова. Среднесуточное выпадение изучаемого большого спектра элементов на снеговой покров формирует средний уровень загрязнения с опасной экологической ситуацией, установленный по величине  $Z_p$ . В нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Омска выявлены геохимические ассоциации La-Ce-Cr, полиметаллов, РЗЭ-U-Th-Hf-Zr, которые характеризуют воздействие функционирующих предприятий и объектов теплоэнергетики (рисунок 4.2.2–4.2.3).

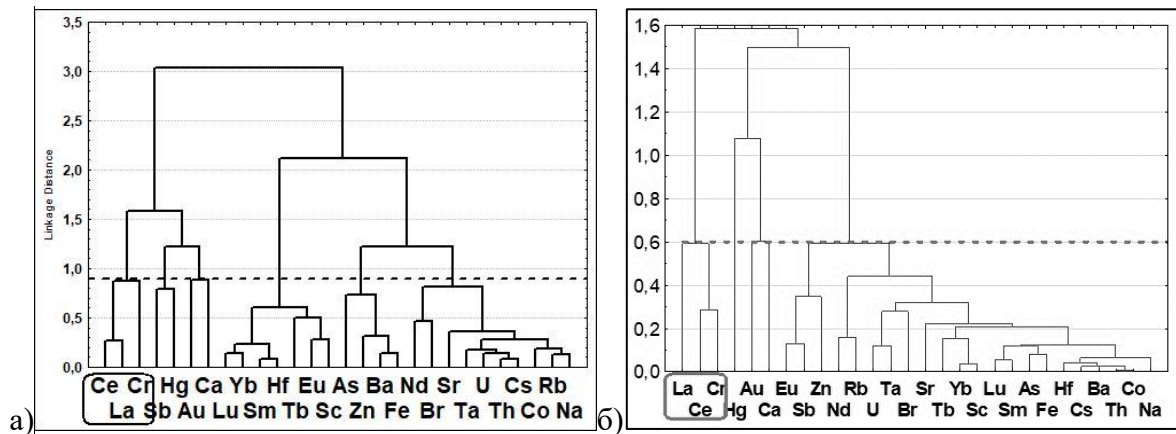


Рисунок 4.2.2. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова: а) территория г. Омска ( $1-r_{0,05}=0,87$ ,  $n=235$ ); б) зона воздействия Омского НПЗ ( $1-r_{0,05}=0,6$ ;  $n=24$ ) (метод ИНАА; Hg – метод ААСМ)

Геохимическая ассоциация La-Ce-Cr в пробах обусловлена деятельностью *нефтеперерабатывающего завода*, где производят и используют цеолит-катализаторы. Этот вывод доказывается формированием геохимических ореолов La, Ce, Cr в Советском округе города, где расположен НПЗ (рисунок 4.2.4). По результатам наших 4-х летних (2013–2016 гг.) наблюдений, в нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия НПЗ выявлены аномально высокие концентрации La ( $K_c = 142$ ), Ce ( $K_c = 16,7$ ) и Cr ( $K_c = 5,1$ ) (таблица 4.2.3), а также уровни выпадения La ( $K_p = 883$ ), Ce ( $K_p = 117$ ) и Cr ( $K_p = 44$ ) (таблица 4.2.4). Данные элементы вносят основной вклад в формирование высокого уровня загрязнения с очень опасной ситуацией по величинам  $Z_c$  и  $Z_p$ .

Пробы отличаются высокими значениями отношений La/Ce в нерастворимом осадке снегового покрова (1,8 ед.) и снеговой воде (3,8 ед.) (Шахова, 2018), а также  $(La+Ce)/(Yb+Lu)$ ,

равного 106 ед., в нерастворимом осадке в сравнении с данными для проб из зон воздействия других изучаемых предприятий на юге Сибири. Для проб установлена ассоциация La-Ce-Cr ( $r \approx 0,6-0,71$ ), которая отражается на дендрограмме корреляционной матрицы геохимических ассоциаций в нерастворимом осадке снегового покрова на территории Омска (рисунок 4.2.2). Ассоциация элементов указывает на их единый источник поступления. Факторный статистический анализ выделил «фактор каталитического крекинга» (12% дисперсии), объединяющий La, Ce и Cr (Шахова, 2018).

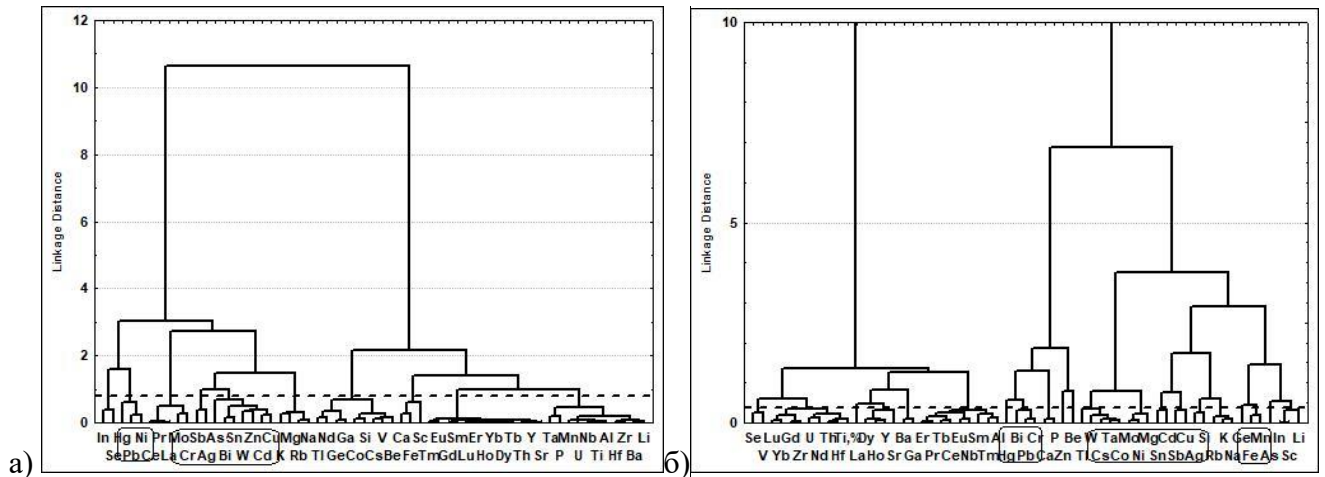


Рисунок 4.2.3. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова: а) территория г. Омска ( $1-r_{0,05}=0,8$ ,  $n=74$ ); б) окрестности Октябрьского промузла ( $1-r_{0,05}=0,37$ ;  $n=10$ ) (метод ИСП-МС)

Поскольку в состав производимых цеолитсодержащих катализаторов крекинга на Омском НПЗ входят оксиды редкоземельных элементов (Доронин др., 2007; 2014), то мы связываем накопление La, Ce и других редкоземельных элементов в нерастворимом осадке снегового покрова с воздействием завода. Наши результаты соотносятся с литературными данными о высоких концентрациях лантана и церия в PM10 и PM2.5, почвах и хвое сосны в окрестностях НПЗ, где используют цеолитсодержащие катализаторы, например, расположенных в Техасе и Испании (Moreno et al., 2008; Celso et al., 2012; Vozlaker et al., 2013; Odabasi et al., 2016). Следует отметить, что установлены также повышенные уровни накопления Cr в нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия НПЗ (НХЗ) в г. Павлодаре (Шахова, 2018). Это вероятно обусловлено содержанием Cr в составе выбросов (Носенко и др., 2018) и шлейфах загрязняющих веществ этого завода (Симоненков, 2015). В данном районе наблюдений не исключается вдобавок дальний источник поступления хрома как крупное металлургическое производство (ферросплавный завод), расположенное в несколько десятков километров от г. Павлодара.

В г. Омске высокий уровень накопления ( $K_c=2-3$ ,  $K_p=5-70$ ) тяжелых металлов и металлоидов (Al, Ti, Ni, V, W, Mo, Fe, Mn, Co, Zn, Cd, Ba) в нерастворимом осадке снегового покрова приурочен к территории Октябрьского промузла (рисунок 4.2.1; таблица 4.2.2–4.2.7), где сосредоточены предприятия машиностроения с гальваническими, металлообрабатывающими,

литейными, механическими, электрохимическими цехами, а также химические, кожевенные и другие виды производств.

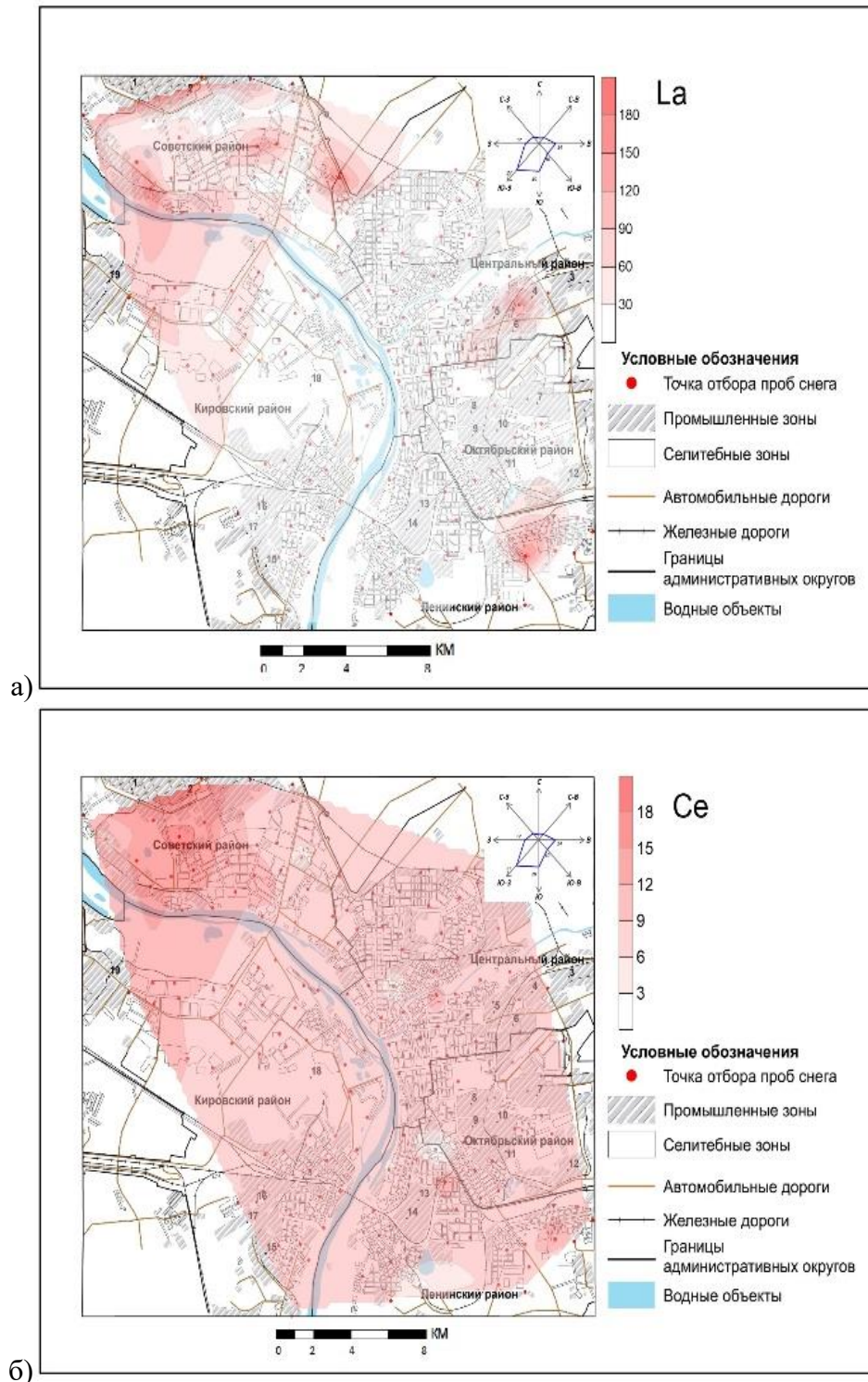


Рисунок 4.2.4. – Карты-схемы распределения коэффициентов концентрации La (а) и Ce (б) в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Омска по данным площадной снегогеохимической съемки (метод ИНАА, промышленные предприятия (1–20): 1 – НПЗ в Советском районе; 2–3 – ТЭЦ в Центральном районе)

Полиметаллическая ассоциация со значимыми корреляционными связями ( $r \geq 0,66$ ), характерная для проб из окрестной промузла проявляется на дендрограмме корреляционной



матрицы геохимических ассоциаций в нерастворимом осадке снегового покрова на территории Омска (рисунок 4.2.3). Данная ассоциация вносит свой вклад в формирование среднего уровня загрязнения в окрестностях промузла. Полиметаллическая ассоциация связана с характером производства. По литературным данным, состав выбросов машиностроения и металлообработки отличается наличием Mo, Cd, W, Sb, Cr, Co, Ni, а кожевенного производства – Sb, Sn, Pb, V, W, Cr (Геохимия..., 1990; Язиков, 2006; Касимов и др., 2016).

В результате многолетних наблюдений за формированием геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова в многопрофильном промышленном городе, например, *Томске*, определено сохранение динамики поступления редкоземельных и радиоактивных элементов, что более подробно будет рассмотрено в разделе 4.4. Так, пробы нерастворимого осадка снегового покрова обогащены U, La, Ce, Tb, Sm, Yb, Na, Ba, Mo, W ( $K_c$  от 5 до 15) (таблица 4.2.1–4.2.2). Менее интенсивно концентрируются в пробах макроэлементы (Ca, Fe, Mg, Al, Si, K, Ti), тяжелые металлы и металлоиды (Hg, Zn, As, Bi, Cd, Sb, Co, Sr, V, Ni), РЗЭ, Th ( $K_c$  от 1,5 до 5). Максимальные значения превышения выпадений элементов над фоном характерны для U ( $K_p=154$ ), Tb, Yb, Sm, Ta, La ( $K_p$  от 92 до 136). Среднесуточное выпадение Na, Zn, Ba, Ce, Lu, V, Mo, W превышают фон от 43 до 81 раза, а выпадения большей части изучаемых химических элементов – от 6 до 39 раз по значениям  $K_p$  (таблица 4.2.4–4.2.5). Средний уровень загрязнения с опасным уровнем экологической ситуации формируется за счет концентрирования в пробах 28 химических элементов, тогда как низкий уровень загрязнения с умеренно-опасной экологической ситуацией – за счет 59 элементов. Превышение среднесуточного выпадения элементов относительно фона создает средний уровень загрязнения с умеренно-опасным уровнем экологической ситуации по величине  $Z_p$ .

Многолетние исследования на территории Томска позволили установить приоритетные элементы-загрязнители в нерастворимом осадке снегового покрова из районов расположения крупных промышленных предприятий: РЗЭ, U, Th, Hg, Ba, As, Sr, Zn, Cd, W, Br, Sb – ГРЭС-2; W, Bi, Fe, Ca – заводы по производству железобетонных конструкций и бетона; лантаноиды, Na – кирпичные заводы; Br, Sb, Hg – нефтехимический комбинат.

По результатам снегогеохимической съемки, к примеру, в различных функциональных зонах крупнейшего по численности населения промышленного города *Кемерово*, где функционируют крупные в стране химические предприятия и мощный теплоэнергетический комплекс, техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова определяется уровнем концентраций U ( $K_c=25,6$ ), Ba, Sm, Tb, Yb, La, Th, Na, Ta, Ce, Sr ( $K_c$  от 5 до 15) (таблица 4.2.1–4.2.2). Макроэлементы (K, Si, Al, Fe, Ti, Mn, Mg, Ca), тяжелые металлы (Sb, Co, Ni, Hg, Zn), редкоземельных элементы в пробах составляют группы элементов с  $K_c$  от 2 до 4. Очень высокое среднесуточное выпадение на снеговой покров относительно фона характерно

для U ( $K_p=703$ ), La, Tb, Yb, Ba, Ce, Sr ( $K_p$  от 238 до 518), тогда как большая часть изучаемых элементов относится к группам элементов с  $K_p$  от 50 до 200 ед. (таблица 4.2.4–4.2.5).

По величине  $Z_c$  уровни обогащения нерастворимого осадка снегового покрова 28 химическими элементами формируют высокий уровень загрязнения с очень опасной экологической ситуацией, а 59 элементами – средний уровень загрязнения с опасной экологической ситуацией в Кемерово. Выпадения химических элементов обуславливают высокий уровень загрязнения с очень опасной экологической ситуацией по величине  $Z_p$ .

Статистический анализ данных показал незначимые различия уровней концентрирования элементов в пробах в селитебных зонах, находящихся под воздействием ГРЭС и коксохимического завода в Кемерово. В геохимическом спектре элементов выделяются ассоциации редких элементов, включая редкоземельные и радиоактивные, которые отражают геохимическую специализацию используемых кузнецких углей на ГРЭС и коксохимическом заводе. Несмотря на то, что коксохимическое производство является источником эмиссии ртути в окружающую среду (Геохимия..., 1990; Янин, 1992; 2002), уровни содержания Hg в пробах нерастворимого осадка снегового покрова не превышают фон.

Формирование геохимической специализации аэрозолей, осевших в снеговом покрове на территории *моногородов* определяются спецификой функционирующих монопроизводств или градообразующих предприятий. Например, в среднем по численности населения моногороде *Юрга*, с наличием *машиностроительного и ферросплавного производства*, индикаторами являются Fe, Cr и Co, уровни накопления которых в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях промзоны превышают фон в 2–3 раза (таблица 4.2.1; таблица 4.2.3). Анализ пространственного распределения химических элементов показывает формирование в окрестностях промзоны геохимических ореолов Fe, Cr и Co, в которых уровни концентрации в нерастворимом осадке снегового покрова составляют 2–5 фонов (рисунок 4.2.5). В тоже время, нерастворимый осадок снегового покрова на территории города отличается интенсивным концентрированием U ( $K_c=41,5$ ), La, Tb, Yb ( $K_c$  от 15 до 25), Ba, Ce, Sm, Na, Sr, Ta, Th ( $K_c$  от 5 до 15), Ca, Hg, Sc, Rb, Cs, Nd, Eu, Hf ( $K_c$  от 1,5 до 5) (таблица 4.2.1), таблица 4.2.3. На территории города среднесуточное выпадение U, Tb, Yb, La характеризуется превышением фона в более, чем в 450 раз, Na, Ba, Sr, Ta, Sm, Lu, Th, Ce – от 100 до 450, а остальные элементов – от 20 до 100 раз (таблица 4.2.4, таблица 4.2.6).

Накопление изучаемого спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова формируют высокий уровень загрязнения и очень опасную экологическую ситуацию в городе по значениям  $Z_c$  и  $Z_p$ . В Юрге наибольшая техногенная геохимическая нагрузка характерна для промышленной зоны, где определён очень высокий уровень загрязнения и максимально опасная экологическая ситуация за счет среднесуточного выпадения элементов.

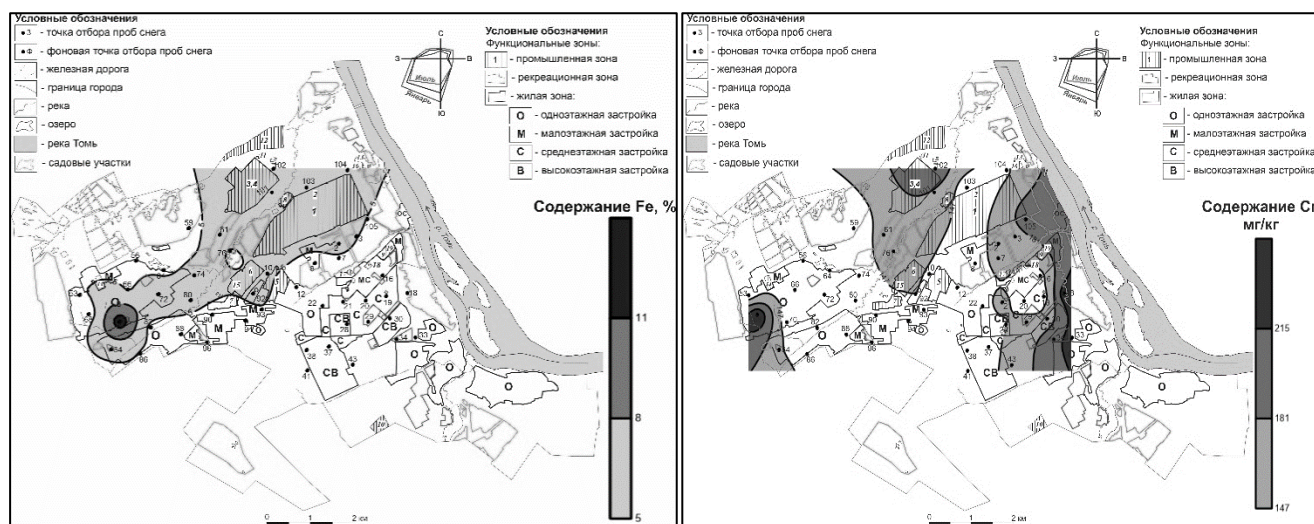


Рисунок 4.2.5. – Карты-схемы распределения Fe и Sr на территории г. Юрга по результатам площадной снегогеохимической съемки (метод ИНАА; предприятия см. рис. 4.1.3)

В нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях промзоны г. Юрга выделены геохимические ассоциации Cr-Sb, Sc-Co-Zn-Hg, Fe-Nd, Ba-Th (рисунок 4.2.6), которые содержатся в выбросах машиностроительных и металлообрабатывающих производств согласно опубликованным работам (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2016). Ассоциации тяжёлых металлов с редкоземельными элементами и РЗЭ-U-Th указывают еще на источник их поступления как сжигание угля на ТЭЦ. Кузнецкие угли специализированы на U, Th, лантаноиды, и содержат тяжелые металлы (Арбузов, 2007; 2015; Волостнов и др., 2012).

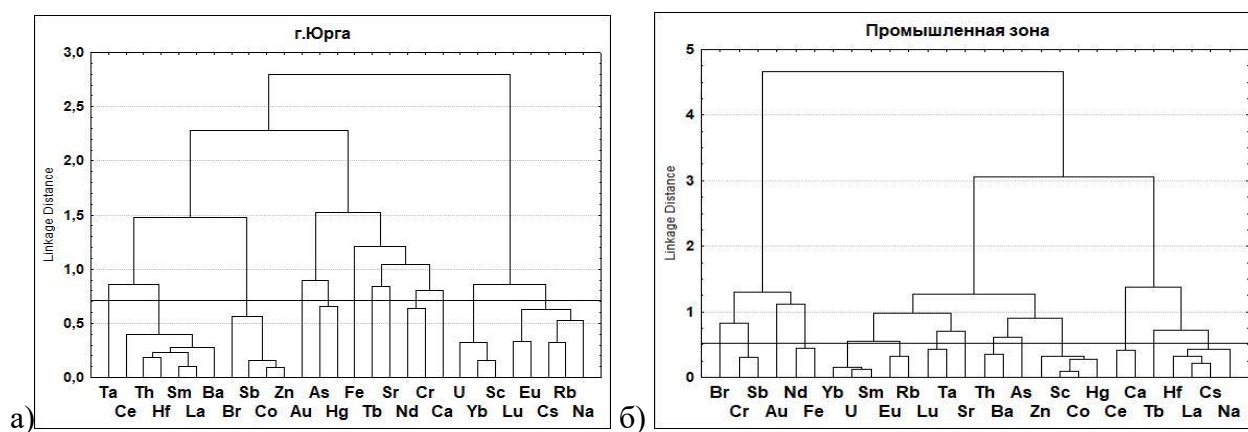


Рисунок 4.2.6. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Юрга: а) город ( $1-\alpha_{0,05}=0,72$ ,  $n=47$ ); б) окрестности промзоны ( $1-\alpha_{0,05}=0,52$ ,  $n=17$ ) (метод ИНАА; Hg – метод ААСМ)

Моногорода, подвергаемые воздействию *угледобывающего техногенеза*, например, *Киселевск* и *Междуреченск*, отличаются высокими уровнями накопления в нерастворимом осадке снегового покрова спектра редкоземельных элементов, урана и тория (рисунок 4.2.1, таблица 4.2.1–4.2.3), элементов-примесей в кузнецких углях, как отметалось выше по литературным данным.

Зона воздействия угледобывающих предприятий, расположенных в *Киселевске*, характеризуется средним уровнем загрязнения с опасной экологической ситуацией за счет высокого накопления в нерастворимом осадке снегового покрова U ( $K_c=17$ ), лантаноидов ( $K_c$  от 5 до 11) и Hg ( $K_c=6$ ) (таблица 4.2.3). Ртуть при этом является индикаторным элементом для нерастворимого осадка снегового покрова в данном районе исследований. Поступление ртути в снеговой покров связано с проявлением геохимической специализаций углей на ртуть в южной части Кузнецкого бассейна (Арбузов и др., 2015). Высокие уровни пылевой нагрузки определяют значительные превышения уровней среднесуточного выпадения элементов над фоном ( $K_p > 100$ ) (таблица 4.2.6), которые формируют высокий уровень загрязнения и очень опасную ситуацию.

Техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на территории г. *Междуреченск* обусловлена накоплением U ( $K_c=21,8$ ), Tb, Ta, Sm, Yb, La, Ba, Sr, Ce ( $K_c$  от 5 до 20), других редких элементов, а также Hg, Ni, V ( $K_c \sim 4$ ) (рисунок 4.2.1, таблица 4.2.1–4.2.3). Наиболее высокие значения  $K_p$  характерны для U, La, Tb, Yb, U (250–450), Ba, Sr, Ce, Ta, Sm, Lu (100–250). Остальные элементы относятся к группам с  $K_p$  до 100 ед. (таблица 4.2.4–4.2.7). В городе сформирован средний уровень загрязнения и опасная экологическая ситуация за счёт поступления изучаемого спектра элементов. В нерастворимом осадке снегового покрова выделяются со значимыми коэффициентами корреляции ассоциация Ni-V, которая скорее всего связана с выбросами автотранспорта, а также большая ассоциация редких элементов, включая редкоземельные, уран и торий (рисунок 4.2.7).

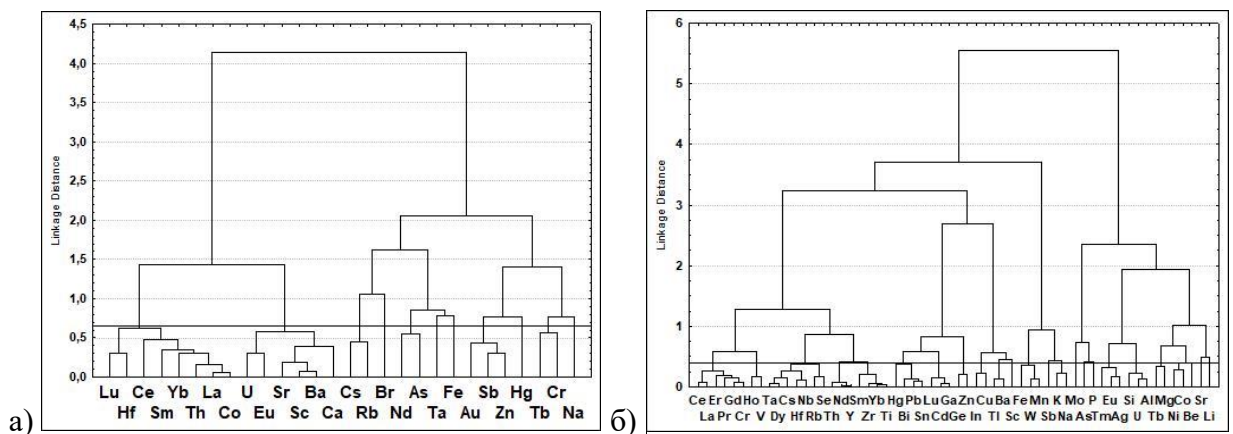


Рисунок 4.2.7. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Междуреченска: а) 28 элементов (метод ИНАА,  $1-r_{0,05}=0,65$ ,  $n=31$ ); б) 59 элементов (метод ИСП-МС  $1-r_{0,05}=0,37$ ,  $n=10$ )

Как отмечалось выше, в разделе 4.1, при анализе пылевой нагрузки определено, что Междуреченск подвергается дальнему переносу выбросов от объектов угледобычи, расположенных в окрестностях города. Выявлены статистически незначимые различия содержания Na, Cr, Br, Rb, Cs, Au, Nd, Ta, Tb, Yb, Lu, U в нерастворимом осадке снегового покрова на территории города и в зонах воздействия угольных карьера и шахты. Техногенная

геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в районах размещения угледобывающих предприятий также проявляется на спектр лантаноидов, уран и торий (таблица 4.2.3, таблица 4.2.6). Геохимические ореолы U и лантаноидов приурочены к расположению местных угольных котельных на территории города (рисунок 4.2.8). В тоже время, в западной части формируется открытая структура геохимических ореолов, вытянутые в северо-восточном направлении от угледобывающих предприятий. Это может указывать на дальние источники поступления микроэлементов, например, перенос выбросов при добыче и транспортировке угля.

По результатам метода f-радиографии определено, что формой нахождения урана и трансураниевых элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Междуреченска является рассеянная, что характеризуется равномерным распределением треков от осколков деления радионуклидов (таблица 4.2.8). Встречаются также отдельные сгустки скоплений треков, что может указать на концентрированную форму нахождения урана в аэрозольных частицах в виде микровключений.

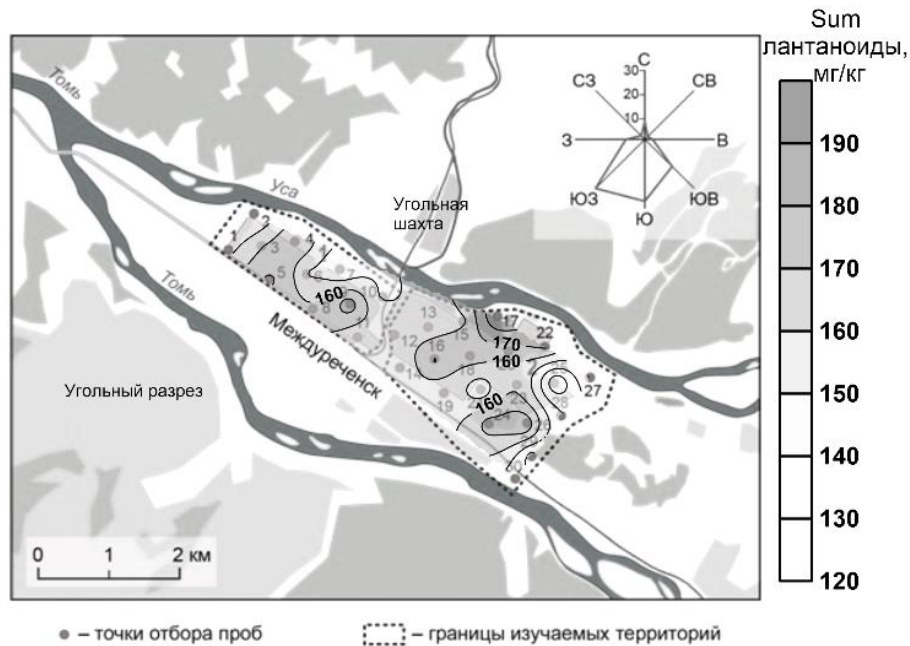


Рисунок 4.2.8. – Карты-схемы распределения концентрации лантаноидов на территории г. Междуреченск по результатам площадной снегогеохимической съемки (метод ИНАА)

Таблица 4.2.8. – Формы нахождения урана и трансураниевых элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории городов юга Западной Сибири

Город	Концентрированная форма нахождения в виде микровключений		Рассеянная форма нахождения
	радиально-лучистое скопление треков, «звезда»/см <sup>2</sup>	отдельные сгустки скоплений треков, скопление/см <sup>2</sup>	равномерное распределение треков, трек/мм <sup>2</sup>
Томск	н.о.	1,2	3354±551
Междуреченск	н.о.	0,7	1350±385
Стрежевой	н.о.	н.о.	1869±962
Фон	н.о.	н.о.	1146±281

метод анализа – f-радиография; н.о. – не обнаружено; ± – стандартная ошибка

В исследованиях 1990-х годов отмечалось повышенное концентрирование As, Yb, Tb, Sr, La, Sm, Au, Th, Al, P, V, Y, Zr, Lu, Ce ( $K_c$  от 5 до 35) в нерастворимом осадке снегового покрова на территории города (Шатилов, 2001; Языков, 2006). Эти факты указывают на влияние постоянно функционирующих источников.

Моногород, подвергаемый воздействию *горнорудного техногенеза*, например, Сорск, характеризуется высокими уровнями накопления в нерастворимом осадке снегового покрова элементов рудных пород, в частности Mo ( $K_c=6$ ,  $K_p=294$ ) и Cu ( $K_c=6$ ,  $K_p=327$ ), а также макроэлементов ( $K_c$  от 2 до 10), отражающие состав вмещающих пород, и некоторых редкоземельных элементов (рисунок 4.2.1, таблица 4.2.2; таблица 4.25, таблица 4.2.7). В Сорске и на территории ГОКа формируются высокий уровень загрязнения и очень опасная экологическая ситуация по значениям  $Z_c$  и  $Z_p$ .

Учитывая специфику добычи и обогащения медно-молибденовой руды, приоритетными элементами-загрязнителями являются Mo и Cu. В пробах снеговой воды на месторождении ранее определены повышенные концентрации Mo, Cd, Co, Mn относительно ПДК и фона (геоэкологические отчеты предприятия). Нерастворимый осадок снегового покрова на территории Сорского ГОКа более обогащен Mo, а на территории города – Cu. Определены при этом в городе ассоциация – Cu-макроэлементы-Rb, а в зоне воздействия ГОКа – Cu-W и Mo-Tl-Hg-Zr-Ga (рисунок 4.2.9). Уровни накопления элементов в нерастворимом осадке снегового покрова обусловлены атмотехногенными потоками пылевых выбросов, содержащие частицы горных пород, от буровзрывных работ, при транспортировке, складировании, процессов обогащения руды, пылении с отвалов и хвостохранилищ.

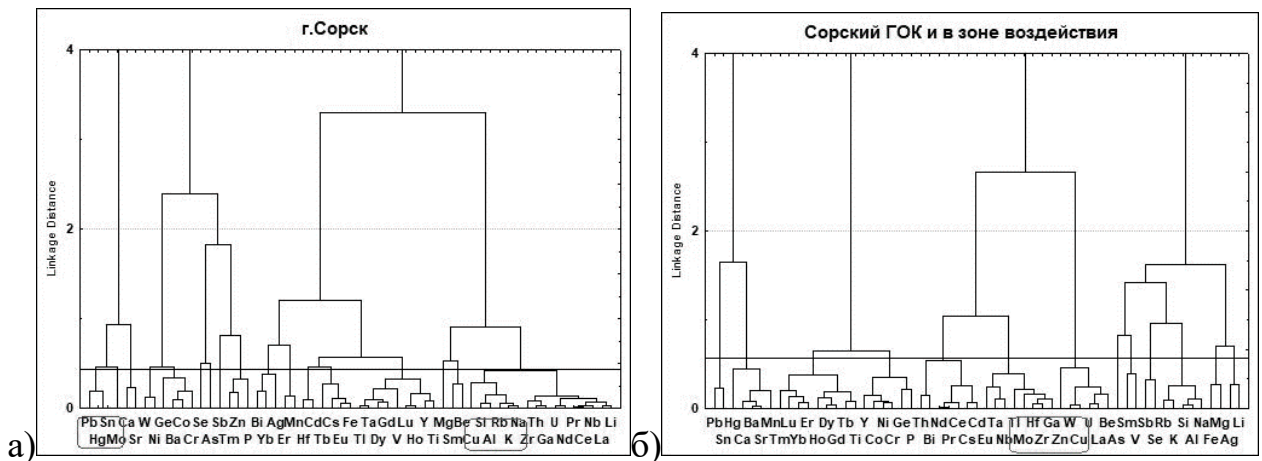


Рисунок 4.2.9. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова: а) г. Сорск ( $1-r_{0,05}=0,43$ ,  $n=12$ ); б) Сорский ГОК ( $1-r_{0,05}=0,57$ ,  $n=21$ ) (метод ИСП-МС, Hg – метод ААСМ)

Состав рудовмещающих, рудных и нерудных горных пород, окисленных руд, сложение рудного поля гранитоидами, находки урановых минералов в кварцевых жилах с медно-молибденовой минерализацией (данные геологических отчетов предприятия) определяют

формирование геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова как на территории ГОКа, так и г. Сорска. В рудах содержатся Cu, Mo, Pb, Cd, Se, Hg, Sb, As, V, Co, Ba (геологические отчеты); в отвалах и хвостохранилищах – повышены концентрации Mo, Cu, Zn, Pb, Sr, V, Ni (геоэкологические отчеты; Рихванов и др., 2004).

В нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Сорска накопление химических элементов может быть обусловлено как дальним переносом пылевых выбросов со стороны месторождения, так воздействием местных котельных. Угли месторождений Республики Хакасия содержат различные микроэлементы-примеси (Арбузов, Ершов, 2007), соответственно могут поступать в составе выбросов от сжигания угля. Нами выявлена геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на *Черногорском угольном месторождении* в Республике Хакасия на ряд тяжёлых металлов и редких элементов (таблица 4.2.3) (Усманова и др., 2012).

Монопромышленные города, малые по численности населения, где в основном функционируют небольшие предприятия и местные котельные, отличаются от других городов более пониженными концентрациями химическим элементами (до 20 фонов) в аэрозольных частицах, осевших в снеговом покрове. Например, нерастворимый осадок снегового покрова на территории *г. Стрежевой*, где функционируют маломощный нефтеперерабатывающий завод и котельные на природном газе, а также вблизи расположены нефтегазодобывающие предприятия, характеризуется высоким уровнем накопления Na ( $K_c = 6$ ), тогда как другие элементы содержатся на уровне 1,5–5 фонов (рисунок 4.2.1–4.2.2). Среднесуточное выпадение элементов превышает фон до 15 раз (таблица 4.2.4–4.2.35). В городе выявлены низкий уровень загрязнения и неопасная экологическая ситуация по значениям  $Z_c$  и  $Z_p$ . Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова определяется влиянием местных источников загрязнения, а также дальним переносом выбросов от факелов на нефтегазовых месторождениях. В нефтяных и газовых шлейфах от факелов содержатся Na, Fe, Mg, Ni, Cu, Al, Si, Ti, Pb, Cr, Hg (Симоненков, 2015). Элементами-индикаторами в снеговом покрове в районах сжигания природного газа являются Br, Hg, Sb, нефтегазодобывающих месторождений – Na (Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Большунова, 2015), что также подтверждается нашими исследованиями на территории нефтегазодобывающего предприятия (рисунок 4.2.1; таблица 4.2.3, таблица 4.2.6).

К примеру, в малом городе по численности населения с наличием лесоперерабатывающих предприятий и многочисленных угольных котельных как *г. Асино*, в нерастворимом осадке снегового покрова в повышенных концентрация относительно фона содержатся U ( $K_c=24$ ), Ba, Sr, La, Ce, Sm, Tb, Yb ( $K_c$  от 4 до 12), а также менее интенсивно концентрируются Na, Ca, Hg, Zn, Co, Hf, Nd, Ta, Th, Lu ( $K_c$  от 1,5 до 3) (таблица 4.2.1). Наиболее высокие значения  $K_p$  характерны для U, Ba, La, Ce, Ta, Sm, Tb, Yb (таблица 4.2.4). Геохимическая специализация нерастворимого

осадка снегового покрова в большей степени отражает приоритетные элементы-загрязнители в пробах из района расположения угольных котельных. В Асино определен средний уровень загрязнения и умеренно-опасная экологическая ситуация по  $Z_c$  и  $Z_p$ .

В малом по численности городе *Колташево*, где техногенная нагрузка в основном формируется за счет воздействия местных котельных, нерастворимый осадок снегового покрова обогащен U ( $K_c=18,7$ ), Na, Ba, La, Ce, Sm, Tb, Yb ( $K_c$  от 5 до 15) и в меньшей степени – Zn, Ca, Sb, Sr, Br, Ta, Lu, Th ( $K_c$  от 1,5 до 5) (таблица 4.2.1). Среднесуточное выпадение U превышает фон в 28 раз, а других элементов – от 5 до 15 раз по значениям  $K_p$  (таблица 4.2.4). Определен средний уровень загрязнения и умеренно-опасная экологическая ситуация по величинам  $Z_c$ ; низкий и неопасная – по  $Z_p$ .

В составе нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия различных по промышленной специфике производств элементы-индикаторы, характеризующие их воздействие, обусловлены составом исходного сырья и материалов, используемых для технологических процессов, промышленной пыли и производимой продукции.

Геохимические особенности состава нерастворимого осадка снегового покрова в зонах техногенеза *нефтеперерабатывающего производства* определяются химическим составом катализаторов, как было выше показано на примере *Омского НПЗ*. Кроме того, геохимическая специализация используемого нефтяного сырья также влияет на формирование отличительных геохимических характеристик нерастворимого осадка снегового покрова. К примеру, геохимическая специализация на V и Ni западно-сибирской нефти (Калинин и др., 2009; Яценко, 2012) отражается в геохимической специфике нерастворимого осадка снегового покрова в зонах воздействия Омского, Ачинского и Павлодарского НПЗ (рисунок 4.2.1). Выявлены статистически значимые корреляционные связи V-Ni ( $r \approx 0,9$ ), которые составляют фактор «элементный состав нефти» (10,7% дисперсии) как в нерастворимом осадке снегового покрова, так и в снеговой воде в районах расположения Омского и Ачинского НПЗ (Шахова, 2018). Отношения V/Ni в снеговом покрове (около 3 ед.) (Шахова, 2018) близкие к таковым для нефти (3–5 ед.; Якуцени, 2005; Яценко, 2012). В зонах воздействия НПЗ формируется низкий и средний уровень загрязнения, установленные по величинам  $Z_c$  и  $Z_p$ , соответственно.

Нефтеперерабатывающая промышленность является источником органических соединений (Kaisarevic et al., 2007; Мухаматдинова, 2012). Содержание бенз(а)пирена в пробах снеговой воды района Омского НПЗ (0,01–0,017 мкг/дм<sup>3</sup>) превышает ПДК<sub>х-п</sub> от 10,5 до 16,6 раз и сопоставимо с данными для проб из района Ачинского НПЗ (0,009–0,017 мкг/дм<sup>3</sup>) (Шахова, 2018).

Установлено, что основным элементом-индикатором, характеризующий специфику воздействия *цементного производства*, является кальций. Так, в нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия цементных заводов, например, расположенных в г. *Топки*



и г. Искитим, уровень концентрации Са составляет 28 и 24 фона, соответственно (рисунок 4.2.1; таблица 4.2.3). Селитебные районы г. Топки, в 3-х км от которого размещен завод, отличаются от других изучаемых городов кальциевой специализацией нерастворимого осадка снегового покрова (таблица 4.2.1). Кальций это основной компонент известняка, используемый в технологическом процессе, и портландцемента, выпускаемой продукции (Цемент и известь, 2008).

Характерной особенностью нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия цементного завода г. Искитим является повышенное накопление Hg ( $K_c=8,2$ ), Co, Zn, Mo, Tl ( $K_c$  от 3 до 6) (таблица 4.2.3; рисунок 4.2.1). Нерастворимый осадок снегового покрова из района завода г. Топки характеризуются накоплением Cd ( $K_c=6$ ), V, Sr и Tl ( $K_c=2-4$ ). Среднесуточное выпадение изучаемого спектра химических элементов изменяется в широких пределах (таблица 4.2.4–4.2.7), что определяет формирование очень высокого уровня загрязнения с чрезвычайно опасной экологической ситуацией по  $Z_p$ . В тоже время, в нерастворимом осадке снегового покрова в районах изучаемых заводов, концентрируются редкоземельные элементы, превышающие фон от 1,5 до 10 раз. Применение глистных пород в качестве сырьевых добавок в производстве цемента может оказывать влияние на поступление редкоземельных элементов с выбросами завода, поскольку нами установлены эти элементы как примеси в глинах.

Концентрация многих изучаемых элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия цементного завода близка к их концентрациям в пыли с электрофильтров завода (Таловская и др., 2019), что указывает на источники эмиссии химических элементов. Полученные результаты соотносятся с литературным данным о составе пыли цементных заводов, которая отличается высоким содержанием Ca, Ba, Sr, Rb, Tl, Zn, Mn, Mo, Cu, Sb, As и др. (Геохимия..., 1990; Язиков, 2006; НДТ, 2015). Согласно опубликованным работам (Геохимия..., 1990; Янин, 1992; 2002), цементное производство является одним из источников Hg, на которое приходится около 10% глобальных выбросов. К примеру, обнаружены высокие содержания ртути в почвах, сосновой хвое, коре и кольцах деревьев, отобранных районе цементного завода в Китае (Zeb et al., 2019). Геохимическая специализация почв из окрестностей цементного завода г. Новороссийск, определялась накоплением Pb, Cu, Zn, Yb (Пашкевич и Алексеенко, 2015).

Нерастворимый осадок снегового покрова в зонах техногенеза *металлургического производства*, отличается геохимической специализацией, связанной со спектром тяжелых металлов и металлоидов. Например, в нерастворимом осадке снегового покрова в районе расположения металлургического комбината (черная металлургия) в моногороде *Новокузнецк* к элементам с высоким уровнем накопления относительно фона относятся U и лантаноиды ( $K_c$  от 10 до 25), а также V, Mn, Mg, Fe, Co, Zn, Sr, Cd ( $K_c$  от 4 до 10) (таблица 4.2.3, рисунок 4.2.1). Этот спектр составляет группу элементов с  $K_p$  от 200 до 450 ед. (таблица 4.2.6–4.2.7). Геохимические

особенности нерастворимого осадка снегового покрова также определяются накоплением Ti, Cu, Cr, Mo, W, Al, Si, Hg и редкоземельных элементов ( $K_c=2-3$ ). Определены значимые корреляционные связи Fe-Zn-Cd, Mn-Cu-Zn-As-Cd-V, Cr-Cu-Zn-As, Sr-Co-Nd ( $r \approx 0,9$ ) в нерастворимом осадке снегового покрова, что указывает на их единый источник поступления (рисунок 4.2.10). Формируется средний уровень загрязнения с опасной экологической ситуацией по  $Z_c$ , высокий уровень загрязнения с очень опасной ситуацией по  $Z_p$ .

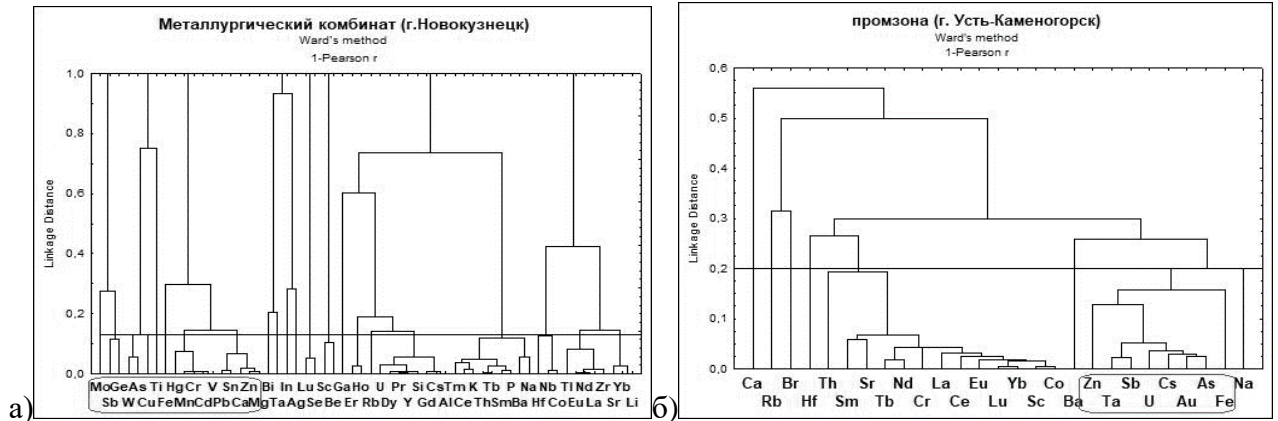


Рисунок 4.2.10. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия металлургических производств: а) комбинат в Новокузнецке ( $1-r_{0,05}=0,15$ ,  $n=5$ ) (метод ИСП-МС); б) промзона в Усть-Каменогорске ( $1-r_{0,05}=0,2$ ,  $n=6$ ) (метод ИНАА, Hg – метод ААСМ)

В ранее проведенных исследованиях на территории Новокузнецка установлено, что в снеговой воде концентрации Cr, V, Zn, Mn, Fe превышают ПДКр.х. более, чем в 2 раза в районах расположения стационарных постов за наблюдением атмосферного воздуха (Журавлева, 2017). В почвогрунтах района, где размещено металлургическое производство, типоморфными элементами являются Sb, Ca, Ba и лантаноиды (Языков, 2006). По стандартам производства стали, Fe, Mn, V, Co, Ti, Cu, Mo, Cd, Cr, Zn, Al, Si и отдельные редкоземельные элементы используются в качестве легирующих элементов для создания прочности и защиты от внешних воздействий выпускаемой продукции. По литературным данным, Zn, W, Mo, Cu, Cr, Mn преобладают в составе промышленной пыли цехов с литейными и чугунами производствами (Геохимия..., 1990), а Sr, Cr, Co, La, Yb, Hf – с металлообрабатывающими процессами (Языков, 2006).

В нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия промышленной зоны, где функционируют предприятия *металлургического комплекса* с производством уран-содержащих материалов, а также тантала, цинка, свинца, меди и других металлов, например, в г. Усть-Каменогорске, установлены высокие уровни накопления Zn ( $K_c=86$ ,  $K_p=775$ ), U ( $K_c=37$ ,  $K_p=228$ ), Ta ( $K_c=19$ ,  $K_p=316$ ), Sb ( $K_c=19$ ,  $K_p=163$ ) (таблица 4.2.3, таблица 4.2.6) и пониженное значение отношения Th/U (0,6 ед.) (Ялалтдинова, Таловская, 2012), что сопоставимо с проведёнными исследованиями снегового покрова в местах размещения отходов производств (Языков, 2006). Для нерастворимого осадка снегового покрова характерной является геохимическая ассоциация

Zn-Ta-Sb-U-Cs-Au-Fe ( $r \approx 0,88$ ) (рисунок 4.2.10). Определен высокий уровень загрязнения с очень опасной ситуацией по величинам  $Z_c$  и средний уровень загрязнения с опасной ситуацией по  $Z_p$ .

Исследования в зоне воздействия предприятий *алюминиевого производства*, например, в *Красноярске*, показывают, что нерастворимый осадок снегового покрова характеризуется невысокими уровнями накопления 28 химических элементов и среднесуточным выпадением элементов на снеговой покров в сравнении с данными для других изучаемых предприятий. (таблица 4.2.3, таблица 4.2.6). В данном районе исследований формируется средний уровень загрязнения с умеренно-опасной экологической ситуацией. Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова обусловлена составом сырья и расходных материалов, составом используемых углей на ТЭЦ (Латыпова и Халиков, 2016; Логинова и др., 2016).

Алюминиевое производство является основным источником поступления фтора в окружающую среду (Хлебопрос и др., 2012). По результатам наблюдений в период с 2013 г. по 2016 г. установлено, что содержание фтора в снеговой воде изменяется от 1,6 до 34,5, при среднем  $13,5 \text{ мг/дм}^3$  (Talovskaya et al., 2015) и фоне  $0,099 \text{ мг/дм}^3$  (Хлебопрос и др., 2012), что согласуется с ранее проведенными работами (Хлебопрос и др., 2012). Так, концентрации фтора в десятки раз превышает фоновые уровни в нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия Саяногорского (Давыдова, 2014; Знаменская, 2015), Иркутского (ИрАЗ, Филимонова и др., 2015; 2017) и Братского (БрАЗ, Янченко и др., 2013) алюминиевых заводов. Нами установлена экспоненциальная зависимость уменьшения содержания F (Talovskaya et al., 2015), а также Na и Li в снеговой воде как специфичных компонентов для выбросов алюминиевых производств по мере удаления от ИрАЗ, что согласуется с исследованиями в зоне воздействия других алюминиевых заводов Сибири – САЗ, БрАЗ и ИрАЗ (Суходулов и др., 2018).

*Таким образом, на урбанизированных территориях юга Сибири, подвергаемых воздействию предприятий различной промышленной специализации (теплоэнергетическая, нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, металлургическая, машиностроительная и металлообрабатывающая, угле, нефте- и горнодобывающая, строительная), выполнена оценка уровней концентрации в нерастворимом осадке снегового покрова до 60 химических элементов (редкоземельные, уран и торий, тяжёлые металлы и металлоиды, макроэлементы и др.). Техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова определяется концентрацией химических элементов на уровне 2–140 фонов, среднесуточным выпадением элементов – 3–900 фонов, а также геохимическими ассоциациями, формирование которых обусловлено промышленной спецификой функционирующих производств. Суммарное воздействие химических элементов, определяемое по  $Z_c$  и  $Z_p$ , создает средний, высокий и очень высокий уровни загрязнения с опасной и очень опасной экологической ситуацией.*

### 4.3. Минерально-вещественная характеристика нерастворимого осадка снегового покрова

Исследования состава нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири с комплексным применением современных аналитических методов позволили идентифицировать наличие природных и техногенных образований (таблица 4.3.1–4.3.16; рисунок 4.3.1–4.3.10).

В данной работе под *природными образованиями* в нерастворимом осадке снегового покрова понимаются кристаллические фазы и/или частицы, которые по своим морфологическим характеристикам и качественному элементному составу могут быть отнесены к природным минеральным аналогам. К природным образованиям также причислены растительные остатки (биогенные частицы). Основу нерастворимого осадка снегового покрова составляют кварц и полевые шпаты, в меньших количествах встречаются карбонаты, слюды и глинистые минералы (таблица 4.3.1–4.3.3).

*Природные минеральные образования* характеризуются преимущественно терригенным происхождением, оседают в снеговой покров в результате ветровой эрозии непокрытых снегом берегов рек и проведения антигололёдных мероприятий с использованием песко-соляной смеси в городе. В тоже время не исключается, что в зимний период в приземном атмосферном воздухе юга Сибири могут быть аэрозольные частицы, принесенные воздушными массами из удаленных районов, где поверхность не покрыта снегом, например, из пустынь и засушливых районов Республики Казахстан, Монголии и Средней Азии. К примеру, в населенных пунктах Европейского Севера России в выпадениях снега желтого цвета выявлена минеральная пыль, связанная с дальним переносом (1500–2500 км) из полупустынных и степных районов Северо-Западного Казахстана, Волгоградской и Астраханской областей, Калмыкии (Шевченко и др., 2010). Обнаружено влияние песков и пыли Калмыкии на формирование состава аэрозоля в г. Москва (Губанова и др., 2021).

Используя понятийный аппарат из области экологической минералогии (Фекличев, 1997; Голева, 2007) и минералогии техногенеза (Чесноков и др., 1991) в данной работе *техногенные образования* в нерастворимом осадке снегового покрова это фазы, генерированные в производственных процессах или оторванные этими процессами от своего природного положения. Техногенные образования в нерастворимом осадке снегового покрова отражают состав пылевых выбросов (промышленная пыль), характерные для предприятий различной производственной спецификой. По литературным данным (Янин, 2003) в промышленной пыли химические элементы находятся в виде металлической формы, в виде силикатов, сульфидов, сульфатов, ферритов, оксидов и арсенидов.

Таблица 4.3.1. – Соотношение природных и техногенных образований в нерастворимом осадке снегового покрова на территории городов юга Сибири по данным площадной снеговой съемки

Тип города	Город	Природные образования, %							Техногенные образования, %										
		Кварц	Карбонаты	Полевые шпаты	Слюда	Молибденит	Растительные остатки	Сумма	Алюмосиликатные микросферулы	Металлические микросферулы	Зола, шлак	Угольные частицы, пыль (сажеподобные)	Волокнистые	Опилки	Кирпичная крошка	Цементная пыль	Шлак металлургический	Стекловолокно	Сумма
Монопрофильный с низкой концентрацией предприятий (моногород*)	Асино	18	–	–	3	–	10	31	7	5	10	36	5	6	–	–	–	–	69
	Стрежевой	32	–	12	5	–	5	54	6	3	18	20	5	–	–	–	–	–	46
	Сорск*	18,3	–	17,7	5	3,3	5	49,3	5	–	25	23,3	–	–	–	–	–	–	50,7
	Топки*	8	–	3	–	–	2	13	7	5	40	22	1	–	–	10	–	–	87
	Юрга*	16,3	6,7	7,4	0,7	–	1,7	32,8	20	5,8	4,9	14,2	0,4	–	0,4	1,5	10,2	9,6	67,2
	Междуреченск*	21	–	–	–	–	–	21	5	–	18	55	1	–	–	–	–	–	79
Многопрофильный с высокой концентрацией предприятий	Кемерово	10,5	1,5	7,5	1,3	–	2	22,8	22,8	17,5	20,8	15,6	0,5	–	–	–	–	–	77,2
	Томск	31	–	0,5	0,7	–	6	38,2	10	7	10	27	1	–	6,8	–	–	–	61,8
	Омск	11,6	3,4	6,5	4,5	–	1,9	27,9	15,7	16,1	21,6	16,1	2,5	–	–	–	–	–	72,1
Непромышленный	Колпашево	25	–	5	–	–	10	40	11	2	9	37	1	–	–	–	–	–	60
Фон		60	2	8	–	–	6	76	7	1	8	7	1	–	–	–	–	–	24

показаны средние значения; пробы изучены микроскопический методом





Таблица 4.3.3 (Окончание)

Минерал, %	Зоны воздействия предприятий																			
	Фон	1	2а	2б	2в	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15а	15б	16
Браунмиллерит (Ca <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,6	13,8	–	–	–	–	–	–	–
Хатрурит (Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub> )	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	29,3	18,1	–	–	–	–	–	–	–
Магнезит (MgCO <sub>3</sub> )	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7,6	–	–	–	–	–	–	–
Актинолит	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,2	6,3	–
Волластонит (CaSiO <sub>3</sub> )	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	41,6	–	–	–	–	–
Корунд (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	23,2	–	–	–	–
Криолит (Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> )	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	11,6	–	–	–	–
Молибденит (MoS <sub>2</sub> )	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,4	–
Кристаллическая	92,8	69,6	39,4	52,6	52,3	69,2	75,7	77,2	50,2	39,1	23	83,7	89,8	82,2	75,5	77,7	42,7	83,5	79	52,7
Аморфная	7,2	30,4	60,6	47,4	47,7	30,8	24,3	22,8	49,8	60,9	77	16,3	10,2	17,8	24,5	22,4	52,7	16,5	21	47,3

метод рентгеновской дифрактометрии; 1 – промузел г. Омска, 2 – промузел г. Юрга (2а – ферросплавный завод; 2б – машиностроительный завод; 2в – производство минеральных утеплителей; 3–5 – нефтеперерабатывающие заводы: 3 – Омск, 4 – Ачинск, 5 – Павлодар; 6 – нефтехимический комбинат в г. Томск; 7–8 – угольные разрезы: 7 – Междуреченск; 8 – Киселевск; 9–12 – производство строительных материалов: 9 – цементный завод в 3-х км от г. Топки, 10 – цементный завод в г. Искитим; 11 – кирпичные заводы в г. Томск; 12 – заводы по производству железобетонных конструкций в г. Томск; 13–14 – металлургические предприятия: 13 – алюминиевый завод в г. Красноярск, 14 – металлургический комбинат в г. Новокузнецк, 15 – Сорский ГОКа (15а – город; 15б – ГОК); 16 – коксохимический завод в г. Кемерово

Таблица 4.3.4. – Микроминеральные фазы в промышленной пыли заводов по производству стройматериалов, %

Пыль с ПГУ заводов	Кварц (SiO <sub>2</sub> )	Альбит (Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ))	Кальцит (CaCO <sub>3</sub> )	Мусковит (KAl <sub>2</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub> )	Монтмориллонит (Al <sub>3</sub> Mg[Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub> nH <sub>2</sub> O)	Микроклин K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Хлорит	Сильвин (KCl)	Кристаллическая	Аморфная
Кирпичные	49,8	6,8	–	25,7	–	–	2,5	–	73,7	26,3
Цементные	14,4	7,7	68,4	–	–	7	–	1,1	79,8	20,2



В нерастворимом осадке снегового покрова *техногенные образования разделены на три вида*: 1) микроминеральные фазы; 2) микрочастицы металлов и металлоидов; 3) прочие техногенные частицы, представленные отдельными компонентами промышленной пыли, разновидности которых определяются производственной спецификой предприятий, оказывающих воздействие (таблица 4.3.1–4.3.14; рисунок 4.3.3–4.3.10).

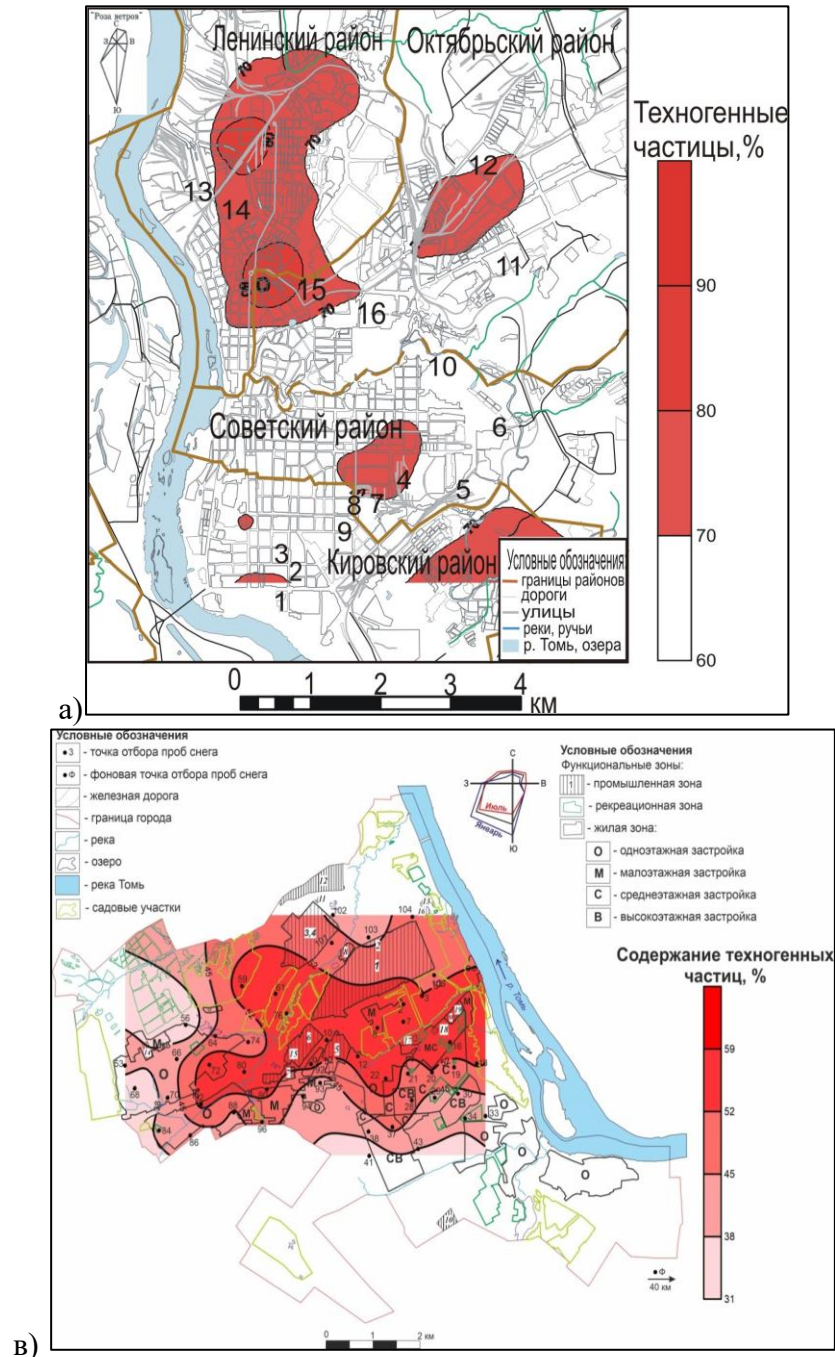


Рисунок 4.3.1. – Карты-схемы распределения техногенных частиц на территории многопрофильного (а) и монопрофильного (б) городов: а) Томск; б) Юрга (цифры на картах – промышленные предприятия)

*Техногенные микроминеральные фазы* представлены такими разновидностями минералов как алюмосиликаты (муллит, хлорит, цеолит, мусковит, полевые шпаты), карбонаты (кальцит,

доломит, магнезит), фториды (криолит), ферриты (браунмиллерит), силикаты (хатрурит, лизардит), оксиды железа и оксиды алюминия (корунд), сульфиды (молибденит) (таблица 4.3.3).

В зонах техногенеза среди микроминеральных фаз выделяются индикаторные фазы, которые напрямую отражают специфику воздействия производства, а также сопутствующие фазы, которые применяются в качестве добавок в техпроцессе или представлены вмещающими породами на объектах по добычи и переработки полезных ископаемых. Установлено, что в нерастворимом осадке снегового покрова на долю индикаторных минералов приходится до 25% от всех изученных техногенных образований. Для определения техногенных источников твердых частиц предложено использовать *отношение минерал-индикатор/кварц* (рисунок 4.3.2). Выбор кварца как реперного минерала обусловлен его большой распространенностью в земной коре и терригенным происхождением в снеговом покрове. На основе фактических данных установлены уровни содержания минерала-индикатора относительно кварца: низкий ( $\leq 0,1$  ед.), средний (0,1–1,0 ед.), высокий (1,5–2,5 ед.) и очень высокий ( $> 2,5$  ед.).

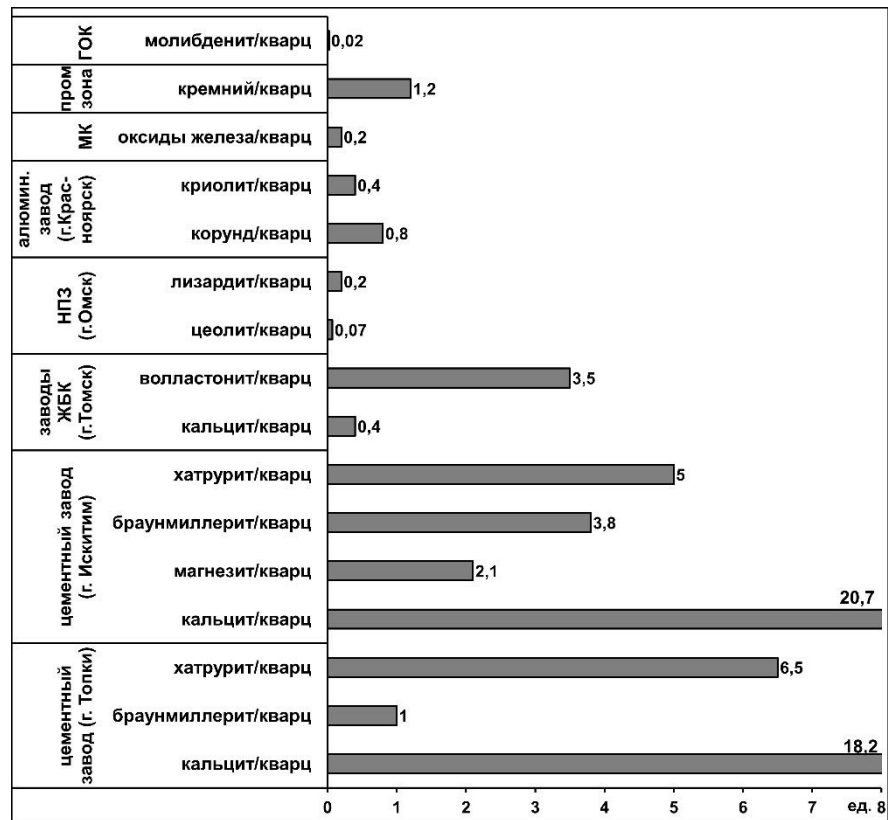


Рисунок 4.3.2. – Отношение минерал-индикатор/кварц в нерастворимом осадке снегового покрова в зонах воздействия предприятий юга Сибири (использованы данные из табл. 4.3.3; МК – металлургический комбинат г. Новокузнецк, промзона г. Юрги, ГОК г. Сорск)

*Техногенные микрочастицы металлов и металлоидов (металлосодержащие)* представляют собой твердофазные формы проявления химических элементов в виде сульфидов (Me-S), сульфатов (Me-S-O), оксидов (Me-O), интерметаллидов (Me-Me) и фосфатов редкоземельных элементов, а также в форме микросферул, которые предложено в этой работе обозначить как

типы микрочастиц. В каждом типе микрочастиц выделены свои подтипы и виды, разновидности с учетом их морфологических особенностей и характеристик элементного состава. В качестве примера приведены детальные результаты изучения микрочастиц в различных зонах техногенеза (таблица 4.3.5–4.3.16). Среди выявленных микрочастиц идентифицированы характерные (индикаторные) металлосодержащие микрочастицы и микросферулы разного состава, обусловленные спецификой влияния предприятий различного производственного профиля. Эти микрочастицы можно рассматривать как частицы-носители химических элементов-индикаторов, характеризующие воздействие производства. Частота встречаемости металлосодержащих микрочастиц достигает 5% от всех изученных техногенных образований.

Таблица 4.3.5. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях промышленного узла г. Омска

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс. %	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Pb-S	Pb (48), S (7,6)	41	23,4
	Ag-S	Ag (12,6), S (2,2), Cu (3,7)	1	0,6
	Zn-S	Zn (44,6), S (18,9)	15	8,6
	Sb-S	Sb (24,5), Cu (21,2), Zn (12,1), Fe (1,1), As (2), S (15,6)	9	5,1
	Fe-S	Fe (86,4), S (0,8)	1	0,6
	Cu-Fe-S	Fe (17,1), Cu (22,3), S (17,9), Ti (0,3)	1	0,6
Содержащие металл, S и O (Me-S-O, сульфаты)	Ba-S-O	Ba (28,8), S (7,3), O (37,2)	39	22,3
Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (57,8), O (33,9)	27	15,4
	Ag-O	Ag (53,2), O (34,2)	1	0,6
	Fe-O с примесями	Fe (58,8), O (20,7), Ti (2,2), Cr (4,3), Mn (3,4)	1	0,6
	Cr-O	Cr (83,2), O (9,1)	1	0,6
	W-O	W (70,5), O (19,1)	1	0,6
Интерметаллические	Cu-Fe-Sn-Ti	Cu (33,6), Fe (4,4), Sn (6,6), Ti (6,5)	1	0,6
	Au-Ag-Cu	Cu (16,7), Ag (3,3), Au (31)	3	1,7
	Cu-Fe-Sn	Cu (54,1), Fe (3,4), Sn (14,9)	1	0,6
	Pb-Zn-Sb-Fe	Pb (54,2), Sb (5,9), Zn (3,6), Fe (2,1)	1	0,6
	W-Sb	W (24,5), Sb (0,08)	1	0,6
	Cr-Fe-Mo-V-W	Fe (79,6), Cr (3,5), Mo (3,3), V (0,8), W (3,6)	1	0,6
Содержащие редкоземельные элементы	Ce-Fe-Ti	Ce (43,9), Fe (40,1), Ti (0,3)	1	0,6

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 175 микрочастиц, включая алюмосиликатного состава и микросферулы

*Прочие техногенные частицы* включают отдельные составляющие промышленной пыли, которые отчетливо идентифицируются при изучении нерастворимого осадка снегового покрова

на бинокулярном микроскопе (таблица 4.3.1–4.3.2). В зависимости от производственной специфики предприятий в нерастворимом осадке снегового покрова техногенные частицы представлены компонентами строительной (кирпичная, цементная, стекловолокно, опилки) и металлургической (металлической) пыли (шлак, микросферулы), продуктами эмиссий от сжигания топлива, например, на предприятиях теплоэнергетики (зола и шлак, угольные и сажеподобные частицы, микросферулы), угольной пылью и микропластиком.

Таблица 4.3.6. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия НПЗ г. Омска

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс. %	Кол-во частиц	%*
Содержащие металлы и S (Me-S, сульфиды)	Pb-S	Pb (62,6), S (4,9)	7	20,0
	Fe-S	Fe (40,8), S (41)	1	2,9
	Cu-Fe-S	Fe (20,5), Cu (21,6), S (23,1)	1	2,9
	Fe-Ni-S	Fe (12,9), Ni (52,8), S (31,9)	1	2,9
Содержащие металлы и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (76,8), O (13,8)	3	8,6
	Zr-Si-O	Zr (42,6), Si (13,9), Al (3,4), O (37,6)	1	2,9
	Zn-O	Zn (65,3), O (30,7)	3	8,6
	W-O	W (60,5), O (30,3), Ti (2,1)	2	5,7
Интерметаллические	W-Ni-Fe	W (72,4), Ni (0,3), Fe (0,6)	1	2,9
	Fe-Cr-Mn	Fe (34,5), Cr (14,8), Mn (6,2)	1	2,9
	V-Ni-Cu-Zn-Fe	V (24), Ni (18), Cu (1,7), Zn (6,1), Fe (10,6)	1	2,9
	Fe-Cr-Cu-Ni	Fe (69,8), Cr (7,7), Cu (0,8), Ni (0,6)	1	2,9
Содержащие редкоземельные элементы	La-Ce- сферулы	La (6,3), Ce (9,4), Nd (0,1), Fe (7,4), Si (4,7), Al (4,4), O (67,6)	1	2,9
	фосфаты цериевые	La (9,7), Ce (20,7), Nd (8), Pr (3,8), Th (3,2), P (6,5), O (40)	5	14,3
	оксиды La, Ce	La (3,4), Ce (5,2), O (57,7)	1	2,9
	оксиды Ce, Zr	Ce (21,5), Zr (15,5), Si (2,9), Al (5,1), O (53,6)	1	2,9

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 35 микрочастиц, включая силикатного, алюмосиликатного состава и микросферулы

Сформированный минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях характеризуется преобладанием техногенных (39–90%) образований над природными (10–61%), при фоне 76 и 24%, соответственно (таблица 4.3.1–4.3.2). Высокая доля (60–85%) техногенных частиц, с превышением фона в 2,5–3,5 раза, характерна для проб с территории как многопрофильных, так и монопрофильных промышленных городов. Средним уровнем долевого содержания техногенных частиц (35–60%), что выше фона в 1,5–2 раза, отличаются монопрофильные города с низкой концентрацией предприятий, к примеру, *Стрежевой* и *Колташево*, а также моногорода, подвергаемые воздействию горнорудного техногенеза, например, *Сорск*. Следует отметить, что основу

нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях составляют продукты выбросов предприятий теплоэнергетики (зола и шлак, угольные и сажеподобные частицы, микросферулы), поскольку в зимний сезон происходит интенсификация их работы.

Таблица 4.3.7. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия промышленных предприятий на территории г. Томска

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс. %	Кол. частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Pb-S	Pb (30,9), S (1,8)	4	1,8
	Zn-S	Zn (37,6), S (17,3)	2	1,0
	Sb-S	Sb (39,1), Fe (6,9), S (14,5)	4	2,1
	Fe-S	Fe (36,6), S (21,7)	9	4,6
	Cu-Fe-S	Cu (21,4), Fe (17,3), S (12,4)	4	2,1
	Hg-S	Hg (8,5), S (2,5)	1	0,5
	As-Fe-S	As (44,6), Fe (11,3), S (3,5)	2	1,0
	Zn-As-S	Zn (18,3), As (1,9), S (10,6)	1	0,5
	Cu-S	Cu (42,8), S (15,9)	3	1,5
Содержащие металл, S и O	Ba-S-O	Ba (29,5), S (4,9), O (34,8)	7	3,6
Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (59,0), O (19,2)	15	7,7
	Zr-Si-O	Zr (35,8), Si (10,9), Al (3,5), O (33,2)	4	2,1
	Zn-O	Zn (47,9), O (25,2)	4	2,1
	Ti-O	Ti (62,4), O (18,6)	1	0,5
	Bi-O	Bi (45,5), O (22,4)	2	1,0
	Ag-O	Ag (11,9), O (36,9)	1	0,5
	Fe-Ti-O	Fe (38,8), Ti (19,6), O (37,7)	7	3,6
	W-O	W (82,2), O (15,3)	3	1,5
	Ni-O	Ni (25,8), O (33,1)	4	2,1
	Zn-Cu-O	Zn (13,4), Cu (26,8), O (28,1)	1	0,5
	Cu-O	Cu (59,4), O (10,6)	2	1,0
	Ba-O	Ba (29,8), O (37,4)	2	1,0
Интерметаллические	Cu-Zn	Cu (6,9), Zn (67,2)	1	0,5
	Cu-Zn-Sn-Co-Fe	Cu (57,2), Zn (4,1), Sn (7,9), Co (7,8), Fe (1,3)	1	0,5
	Au-Ag-Cu	Cu (11,7), Ag (1,5), Au (16,1)	2	1,0
	Cr-Fe	Cr (10,1), Fe (63,5)	1	0,5
	Cu-Zn-Sn-Pb	Cu (73,9), Zn (4,1), Sn (4,8), Pb (1,9)	1	0,5
	W-Ti-Fe	W (34,8), Ti (14,1), Fe (3,6)	1	0,5
	Cu-Sn	Cu (60,4), Sn (19,6)	1	0,5
	Pb-Sb-Ti-Fe	Pb (24,9), Sb (23,9), Ti (1,3), Fe (3,9)	1	0,5
	Fe-Ni-Cr	Fe (63,8), Ni (10), Cr (13,2)	1	0,5
	W-Ti-Fe	W (29,2), Ti (16,1), Fe (4,7)	1	0,5
	Fe-Cr-Mn-Ti	Fe (62,1), Cr (5,9), Mn (120), Ti (0,4)	1	0,5
	Ni-Ti-Zr-Fe	Ni (4), Ti (20,2), Zr (8,5), Fe (29,6)	1	0,5
Содержащие редкоземельные элементы	La-Ce-сферулы	La (21), Ce (17), Si (6), Al (2), O (52)	1	0,5
	иттриевые сферулы	Y (24), Ga (3), Dy (6), Si (6), Al (4), Fe (3), P (4), O (35)	1	0,5
	фосфаты цериевые	La (10,2), Ce (21,2), Nd (7), Sm (2,3), Pr (2,7), Th (1,7), P (7,9), O (33,9)	10	5,2
	оксиды La, Ce	La (8,9), Ce (14,3), O (30,1)	1	0,5

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 222 микрочастицы, включая силикатного, алюмосиликатного состава и микросферулы; пробы из окрестностей промышленных объектов (ГРЭС-2, кирпичные заводы, заводы ЖБК), из двух жилых районов

Таблица 4.3.8. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в районах, подвергаемых воздействию предприятий г. Кемерово

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс. %	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Pb-S	Pb (44,7), S (12)	2	5,6
	Zn-Pb-S	Zn (18,9), Pb(17,6), S (9,7)	1	2,8
	Fe-S	Fe (47,3), S (43,9)	1	2,8
	Sb-S	Sb (60,1), Zn (2,8), S (21,9)	1	2,8
Содержащие металл, S и O (Me-S-O, сульфаты)	Ba-S-O	Ba (29,9), S (3,6), O (37,6)	3	8,3
Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (70,2), O (28,4)	7	19,4
	Zr-Si-O	Zr (25,6), Si (23,5), Al (3,7), O (46,7)	1	2,8
Интерметаллические	Cu-Zn	Cu (43,2), Zn (24,9)	2	5,6
	Fe-Zn	Fe (47,9), Zn (12,6)	1	2,8
	Fe-Cu	Fe (85,3) Cu (2,9)	1	2,8
Содержащие редкоземельные элементы	фосфаты цериевые	La (6,1), Ce (12,3), Nd (4,2), Pr (2,1), Sm (0,3), Th (3,9), P (8,4), O (36,8)	2	5,6

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 36 микрочастиц, включая алюмосиликатного состава и микросферулы; районы коксохимического завода и ГРЭС

В зонах воздействия предприятий (угледобывающие, цементные, металлургические, теплоэнергетические) в основном формируется высокая доля техногенных частиц относительно природных образований. В тоже время, в нерастворимом осадке снегового покрова соотношение аморфной фазы, отражающая техногенные частицы, и кристаллической фазы, отличается в зонах техногенеза (таблица 4.3.3). Например, высокая доля аморфной фазы (58–72%), что выше фона (7%) в 4–6 раз, проявляется в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия нефтеперерабатывающих заводов, предприятий с металлообрабатывающими производствами и угледобывающих предприятий. В тоже время, отмечается закономерность формирования высокого процентного содержания кристаллической (минеральной) фазы (>80%) в пробах, отобранных в районах расположения объектов строительной индустрии (кирпичные, цементные заводы) и добычи минерального сырья, например, медно-молибденовой руды, за счет высокого вклада микроминеральных фаз, имеющих техногенное происхождение.

Используя запатентованный нами способ определения загрязнения снегового покрова техногенными компонентами (патент № 2229737, авторы: Языков, Шатилов, Таловская, 2004 г.), выполнено картирование распределения техногенных образований на территории отдельных городов. По результатам выделены ореолы в районах размещения предприятий, в которых содержания техногенных частиц составляет более 60%. Например, в *Томске*, ореолы с высоким содержанием техногенных частиц (60–85%) расположены в районах города, подверженных воздействию предприятий теплоэнергетики и кирпичных заводов (рисунок 4.3.1). Так, в *Омске*, ореолы техногенных частиц (50–80%) приурочены к окрестностям предприятий с

металлообрабатывающим производством и предприятий теплоэнергетики. К примеру, в Юрге, контрастные ореолы техногенных частиц (>60%) охватывают центральную часть города и окрестности промузла с предприятиями машиностроительного, ферросплавного и теплоэнергетического комплекса (рисунок 4.3.1).

Таблица 4.3.9. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия нефтеперерабатывающего завода г. Ачинск

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, (масс.%)	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Pb-S	Pb (43,1), S (5,7)	1	4
	Fe-S	Fe (44,2), S (40,7)	1	4
	As-Fe-S	As (35,7), Fe (29,6), S (16,1)	1	4
Содержащие металл, S и O (Me-S-O сульфаты)	Ba-S-O	Ba (27,3), S (5,7), O (28,7), Ca (10,3)	1	4
Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Zr-Si-O	Zr (51,8), Si (14,5), Al (1,4), O (30,7)	1	4
	Zr-Si-O с примесями	Zr (43,5), Si (1,7), Al (3,6), O (33,6), Ce (0,4), Hf (0,7), Th (1,2), U (0,4)	1	4
		Zr (13,5), Si (0,4), Al (0,9), O (38,3), Ce (6,2), La (1,5), Th (2,8), Nd (0,9), Pr (0,4)	1	4
	Sn-Ni-Fe-O	Sn (13,9), Ni (2,4), Fe (1), O (28,1)	1	4
	Zn-O	Zn (76,2), O (13,9)	1	4
	Ni-O с Cr, Fe	Ni (22,9), O (62,4), Cr (0,2), Fe (0,3)	1	4
	Pb-O	Pb (50,1), O (27,6), Cu (1,1), Fe (4,1)	1	4
Интерметаллические	Fe-Mn-Ti	Fe (95,9), Mn (0,5), Ti (0,7)	1	4
	Ni-V-Fe-Zn-Ti	Ni (27), V (14,4), Fe (17,3), Zn (1,9), Ti (0,2)	1	4
	Au-Ag-Cu	Au (50,9), Ag (7,8), Cu (28,1)	1	4
	Cr-Fe-Mn	Cr (44,6), Fe (17,3), Mn (0,3)	1	4
	Fe-Cr-Ti	Fe (66,7), Cr (7,4), Ti (0,6)	1	4
	фосфаты цериевые	Ce (21,9), La (8,6), Nd (10,1), P (7,5), O (43,1)	2	8
	фосфаты иттриевые	Y (35,1), Ga (2,7), Si (1,1), Al (1,8), Fe (3,2), P (14,7), O (38,9)	1	4

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 25 микрочастиц, включая микросферы

В результате детальных исследований установлены *индикаторные техногенные образования* в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий (до 1 км), отличающихся промышленной специализацией. Так, в районе расположения *НПЗ в г. Омске*, цеолит и лизардит определены как минералы-индикаторы, с низким и средним уровнем отношения к кварцу, соответственно (рисунок 4.3.2). Вероятнее всего поступление цеолита связано с производством и использованием на заводе катализаторов микросферических цеолитсодержащих, а лизардита – смазок, которые содержат высокодисперсные порошки лизардита по литературным данным (Джамалов, 2007). Особенностью нерастворимого осадка снегового покрова также является высокая частота встречаемости микрочастиц, близких по

составу к цериевым фосфатам и оксидам лантаноидов (таблица 4.3.6; рисунок 4.3.3). В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия НПЗ, расположенных в *Омске и Ачинске*, например, индикаторными являются интерметаллические микрочастицы и оксиды с ванадий-никелевым составом (таблица 4.3.6; таблица 4.3.9), а в *Павлодаре* – интерметаллиды Cr-Fe и Cu-Sn-Pb, сульфиды (Cr-Fe-S, Hg-S) и оксиды (Fe-Mn-O) (Шахова, 2018). Отличительным показателем в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия нефтехимического комбината г. *Томска* является наличие полиэтилен-подобных частиц, которые можно отнести к разновидности микропластика (таблица 4.3.3).

Таблица 4.3.10. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях промышленной зоны г. Юрга

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс. %	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Pb-S	Pb (47,7), S (3,5)	2	1,6
	Sb-S	Sb (10,4), Fe (4,1), S (3,3)	1	0,8
	Fe-S	Fe (37,7), S (28,6)	4	3,2
	Cu-Fe-S	Cu (47,8), Fe (12,4), S (21,5)	1	0,8
	Hg-S	Hg (17,2), S (3,9)	1	0,8
	As-Fe-S	As (14,4), Fe (13,5), S (8,1)	1	0,8
Содержащие металл, S и O (Me-S-O, сульфаты)	Ba-S-O	Ba (51,1), S (12,1), O (29,7)	5	4,0
Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (63,4), O (21,9)	13	10,5
	Zr-Si-O	Zr (40,6), Si (6), Al (3,3), O (31,6)	2	1,6
	Zn-O	Zn (43,6), O (28,4)	2	1,6
	Ti-O	Ti (15,1), O (40,2)	1	0,8
	Al-O	Al (49,1), O (50,9)	1	0,8
	Ba-O	Ba (29,8), O (37,4)	1	0,8
	Ca-Fe-O (шлак металлург.)	Ca (17,7), Fe (22,7), Mg (2,1), Mn (2,2), Al (3,6), Si(8,8), K (0,4), Na (0,3), O (40,1)	25	20,2
Интерметаллические	Cu-Zn	Cu (46,5), Zn (27,1)	1	0,8
	Cu-Sn-Fe	Cu (9,7), Sn (1,8), Fe (1)	1	0,8
	Mn-Fe	Mn (75), Fe (14,1)	1	0,8
	Fe-Cr-Ni-Bi	Fe (68,9), Cr (15,3), Ni (9,8), Bi (0,6)	1	0,8
	Fe-Mn-Cr	Fe (68,6), Mn (12,5), Cr (8,2)	1	0,8
	Fe-Si	Fe (47,7), Si (48,7)	4	3,2
Содержащие редкоземельные элементы	фосфаты цериевые	La (5,3), Ce (11,9), Nd (5,5), Sm (0,8), Pr (2,2), P (5,2), O (35,9)	6	4,8

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 124 микрочастицы, включая алюмосиликатного состава и микросферулы

В окрестностях промышленных узлов, где расположены предприятия *машиностроения и металлообработки, а также ферросплавное производство, например, в Омске и Юрге*, минералы группы оксидов железа, характеризуют воздействие этих предприятий (таблица 4.3.3).



Определено при этом низкое содержание минералов по отношению к кварцу (рисунок 4.3.2). Индикаторные минералы могут проявляться в виде железосодержащих микросферул, определяемые с помощью сканирующей электронной микроскопии (рисунок 4.3.4), которые видны как металлические микросферулы под бинокулярным микроскопом. Так, ореолы металлических микросферул на уровне до 25%, что выше фона (<10%) до 2,5 раз, приходились на район Октябрьского промузла, а на уровне до 15% – предприятий теплоэнергетики.

Таблица 4.3.11. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Междуреченск

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс.%	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Pb-S	Pb (83,2), S (6,7)	5	16,7
	Zn-S	Zn (61,5), S (34,9)	1	1,1
	Cu-Fe-S	Cu (35,5), Fe (31,5), S (32,9)	7	7,8
	Fe-Ni-S	Fe (36,5), Ni (8,2), S(0,8)	1	1,1
	Fe-Mn-Cu-S	Fe (36,6), Mn (25,4), Cu (5,5), S (32,3)	1	1,1
	Cu-Zn-S	Cu (60,7), Zn (26,4), S (0,9)	1	1,1
Содержащие металл, S и O (Me-S-O, сульфаты)	Ba-S-O	Ba (44,5), S (7,1), O (29,3)	9	10
Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (38,5), O (51,9)	21	23,3
	Ti-O	Ti (67,8), O (17,8)	1	1,1
	Ni-O	Ni (95,4), O (3,8)	1	1,1
	Cu-O	Cu (85,7), O (14,1)	1	1,1
Интерметаллические	W-Cu-Co-Ti-Fe	W (91,6), Co (1,4), Cu (1,1), Ti (1,6), Fe (0,3)	1	1,1
	Cu-Zn-Sn-Pb	Cu (73,9), Zn (4,1), Sn (4,8), Pb (1,9)	1	1,1
Содержащие редкоземельные элементы	фосфаты цериевые	La (9), Ce (17,1), Nd (8,2), P (8,2), O (45,3)	4	4,4
	фосфаты иттриевые	Y (35,1), Ga (2,6), Dy (6,9), Si (2,5), Al (1,6), Th (2,1), P (18,2), O (26,4)	1	1,1
	оксиды La,Ce	La (0,4), Ce (40,1), O (14,6)	1	1,1

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 90 микрочастиц, включая алюмосиликатного состава, микросферулы

На территории г. Юрга ореолы распределения металлических микросферул, в которых содержание составляло более 10%, охватывали окрестности промзоны. При электронно-микроскопических исследованиях установлено, что рельеф поверхности этих микросферул выглядит в виде отдельных разнообразных многоугольников, которые по массе содержат Fe и O, вероятно это кристаллы минералов группы оксидов железа (рисунок 4.3.4). Морфология микросферул отличается в пробах, отобранных вблизи машиностроительного завода и ТЭЦ. Железосодержащие микросферулы содержатся в золе уноса угольных ТЭЦ (Кизильштейн и др., 1995; Пирогенный..., 2005), а также обнаружены в снеговом покрове в районе расположения заводов с литейными производствами (Язиков, 2006; Miler и Gosar, 2015).

В зоне воздействия ферросплавного производства дополнительным минералом-индикатором является кремний (таблица 4.3.3), содержание которого находится на среднем уровне относительно доли кварца (рисунок 4.3.2). На ферросплавных заводах происходит выделение кремнийсодержащей пыли в местах хранения сырья, при дроблении, сортировке и загрузке материалов; технический кремний – сырье для металлургических производств (Куатова, 2016).

Установлены ореолы распределения шлака металлургического с уровнем 15–25% в окрестностях промзоны г. Юрга. Элементный состав шлаков представлен преобладанием Ca, Si и O, а также примесями Fe, Al, Mg, K, Na (таблица 4.3.5). По литературным данным (Сидоренко, Нозирзод, 2016), основными компонентами электроплавильного шлака металлургического производства Юргинского машзавода являются CaO (52,46% по массе), MgO (11,9), MnO (3,04), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,22), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,83).

Тяжелые металлы в нерастворимом осадке снегового покрова, характеризующие воздействие предприятий промышленного узла в Омске и Юрге, находятся преимущественно в виде интерметаллических микрочастиц с различными комбинациями металлов, частота встречаемости которых в пробах высокая (таблица 4.3.5, таблица 4.3.10, рисунок 4.3.7). Например, в нерастворимом осадке снегового покрова из района промузла г. Юрга индикаторами являются микрочастицы, содержащие Fe – Fe-S; As-Fe-S; Fe-Si; Fe-O; Fe-Mn-Cr; Fe-Cr-Ni-Bi.

Таблица 4.3.12. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в районе расположения угольного разреза г. Киселевска

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс.%	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Fe-S	Fe (62,4), S (6,3)	1	3,5
Содержащие металл, S и O (Me-S-O, сульфаты)	Ba-S-O	Ba (22,6), S (12,5), O (41,8)	2	7,1
Содержащие металл и O (оксиды металлов)	Fe-O	Fe (67,7), O (30,9)	7	25,0
Содержащие редкоземельные элементы	фосфаты иттриевые	Y (26,2), Ga (1,5), Dy (5,5), Si (2,9), Al (1,), Th (0,4), P (12,1), O (35,5)	1	3,5

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 28 микрочастиц, включая алюмосиликатного состава, микросферулы

В нерастворимом осадке снегового покрова на территории городов, подверженных воздействию *угледобывающих предприятий* (г. Междуреченск, г. Киселевск) характерными являются образования, в первую очередь, связанные с пылевыми выбросами, переносимые от объектов этих предприятий, а также от местных угольных котельных. Для нерастворимого осадка снегового покрова индикаторными являются техногенные частицы, представленные угольной пылью (таблица 4.3.1–4.3.2). Сопутствующими микроминеральным фазами являются – кварц, полевые шпаты и кальцит (таблица 4.3.3), которые составляют основу как терригенного

материала, так и вмещающих пород на месторождениях. Содержание муллита в нерастворимом осадке снегового покрова, с одной стороны, обусловлено выбросами от сжигания угля на местных котельных, а с другой стороны, может быть связано с ветровым переносом пыли отвалов, размещаемых на территории разрезов. Для Кемеровской области характерным является самовозгорание угольных отвалов (Брагина, 2013), в результате которого формируются новообразования в отвалах, включая и муллит (Чесноков, 1991).

Таблица 4.3.13. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Сорска и Сорского ГОКа

Тип	Вид	Среднее содержание элементов (город/ ГОК), масс. %	Город		Сорский ГОК	
			кол-во частиц	%*	кол-во частиц	%*
Содержащие металлы и S (Me-S, сульфиды)	Fe-S	Fe (43,2/44,3), S (44,7/47,6)	5	18,5	5	5,2
	Zn-S	Zn (66,2), S (26,5)	2	7,4	–	–
	Cu-Fe-S	Cu (29,6/25,9), Fe (23,6/24,5), S (28,4/24,6)	1	3,7	2	2,1
	Pb-S	Pb (60,6), S (9,1)	–	–	2	2,1
	Mo-S	Mo (43,3/35,6), S (37,1/30,2)	4	14,8	16	16,5
Содержащие металлы, S и O (Me-S-O, сульфаты)	Ba-S-O	Ba (45,3/42,9), S (10,1/10,8), O (37,1/32,2)	4	14,8	23	23,7
Содержащие металлы и O (Me-O, оксиды металлов)	Ca-O	Ca (19,9/38,8), O (47,9/53,2)	3	11,1	3	3,1
	Fe-O	Fe (58,3/61,3), O (30,6/28,1)	3	11,1	6	6,2
	Fe-Ti-O	Fe (18,4/3,7), Ti (17,7/31,8), O (46,850/)	1	3,7	1	1,0
	Fe-Cu-O	Fe (33,3), Cu (33,5), O (24,7)	–	–	1	1,0
	Ag-O	Ag (88,2), O (11,8)	–	–	1	1,0
	Zr-Si-O	Zr (38,9), Si (8,5), Al (5,4), O (43,2)	–	–	1	1,0
Содержащие редкоземельные элементы	Карбонаты La, Ce	La (5,6), Ce (10), Nd (3,5), Pr (0,7), Th (14), Ca (17,4), O (29,4)	–	–	1	1,0

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено в пробах города 27 микрочастиц; ГОК – 97 микрочастиц, включая алюмосиликатного состава

В нерастворимом осадке снегового покрова на территории Междуреченска и Киселевска идентифицированы микрочастицы, содержащие фосфаты и оксиды редкоземельных элементов (таблица 4.3.11–4.3.12), наличие которых обусловлено влиянием добычи и сжигания угля. В углях Кузнецкого бассейна формой проявления редкоземельных элементов являются иттриевые и цериевые фосфаты (Арбузов, Ершов, 2007). Наши результаты сопоставимы с исследованиями проб свежеснежного покрова в одном из угледобывающих районов Кузбасса, в которых выявлены микрочастицы редкоземельных фосфатов и силикатов (Голохваст и др., 2014).

В нерастворимом осадке снегового покрова в районах *горнорудного техногенеза*, например, *Сорского ГОКа и г. Сорска*, микроминеральными фазами-индикаторами являются рудные минералы, в частности молибденит, а сопутствующие минералы соответствуют составу вмещающих горных пород – полевые шпаты, кварц и др. (таблица 4.3.3). В тоже время, в качестве индикаторов выделены микрочастицы, близкие по составу к сульфидам молибдена (Mo-S, молибденит?), меди и железа (Cu-Fe-S, халькопирит?), оксидам меди (Fe-Cu-O) (таблица 4.3.13, рисунок 4.3.8).

Таблица 4.3.14. – Микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия цементного завода (г. Топки)

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс. %	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Fe-S	Fe (39,8), S (40,2)	2	4,2
Содержащие Ca, металл и O (Me-O, оксиды)	Ca-O (кальцит?)	Ca (40,3), O (57,2)	7	14,6
	Fe-O	Fe (56,4), O (33,8), (Ca (5,7))	10	20,8
	Zr-Si-O	Zr (27,1), Si (14,1), Al (5,2), O (42,6), (Ca (7,1))	3	6,3
	Pb-O	Pb (33,5), O (40,4) (Ca (24,7))	1	2,1
Интерметаллические	Fe-Zn-Mn	Fe (33,2), Zn (8,4), Mn (3,5) (Ca (15,4), O (38,2))	5	10,4
	Bi-Cu-Zn	Bi (10,7), Cu (0,4), Zn (0,5) (Ca (37,9), O (36,9))	1	2,1
	Pb-Cd-Fe	Pb (23,3), Cd (2,3), Fe (1,6), (Ca (11,7), O (39,2))	1	2,1
	Pb-Cr-Ti-Fe	Pb (26,4), Cr (7,9), Ti (2,3), Fe (0,8), (Ca (20,4), O (38,5))	1	2,1
	Fe-Zn-Cu-Cr	Fe (36,8), Zn (4,3), Cu (0,6), Cr (0,2), (Ca (6,5), O (38,7))	2	4,2
Содержащие редкоземельные элементы	фосфаты цериевые	La (4,6), Ce (8,7), Nd (2,9), P (3,4), O (50,8) (Ca (22,7))	1	2,1
Содержащие Ca, Al, Si, Fe, O	Ca-Al-Si-Fe-O	Ca (28,6), Al (7,5), Si (6,4), Fe (11,9), O (45,5)	7	14,6
Са-содержащие микросферулы	Ca-Fe-сферулы	Ca (14,5), Fe (26,3), Al (4,8), Si (5,3), Mg (3,2), O (45,8)	2	4,2
	Ca-Fe-Zn-сферулы	Ca (18,3), Fe (16,6), Zn (4,2), Al (6,1), Si (1,6), Mg (2,2), O (49,3)	2	4,2
	Ca-Fe-Cu-сферулы	Ca (15,8), Fe (25,6), Cu (0,8), Al (7,7), Si (1,8), Mg (0,6), O (45,3)	1	2,1
	Ca-Fe-Pb-сферулы	Ca (18,8), Fe (2,1), Pb (25,1), Al (6,4), Si (8,2), Mg (0,5), O (33,8)	1	2,1

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 48 микрочастиц; Ca и O в видах частицах является отражением от Ca-O-содержащих частиц

В районах размещения *различных видов производства строительных материалов* нерастворимый осадок снегового покрова отличается типами техногенных образований. Так, в составе проб кальцит, магнезит, браунмиллерит и хатрурит являются минералами-индикаторами,

характеризующие воздействие *цементного производства*, например, *расположенных в г. Топки и г. Искитим* (таблица 4.3.3). Отмечается высокое содержание этих минералов относительно кварца (рисунок 4.3.2). Кальцит и магнезит представляют собой основные компоненты известняка, являющегося сырьевым материалом для производства, которое добывается на карьерах, близко расположенных от заводов. Кальцит также обнаружен в составе пыли с электрофильтров завода (таблица 4.3.4) (Таловская и др., 2019). Браунмиллерит и хатрурит являются компонентами портландцементного клинкера, используемого для улучшения скорости твердения, пористости и долговечности цемента (Цемент и известь, 2008). При электронно-микроскопических исследованиях нерастворимого осадка снегового покрова выделяются микрочастицы-индикаторы, близкие по составу к карбонатам кальция, а также кальций-содержащие микросферулы с различными комбинациями тяжелых металлов, что показано на примере исследований в районе завода г.Топки (таблица 4.3.14). Нерастворимый осадок снегового покрова также характеризуется наличием цементной пыли, что отчетливо идентифицируется на бинокулярном микроскопе (таблица 4.3.2).

Таблица 4.3.15. – Микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия металлургического комбината (г. Новокузнецк)

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, (масс.%)	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды)	Zn-S	Zn (24,3), S (8,4)	1	3,3
Содержащие металл, S и O (Me-S-O сульфаты)	Ba-S-O	Ba (43,3), S (9,6), O (31,7)	1	3,3
Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (63,4), O (30,9)	7	23,3
	Ba-O	Ba (16,4), O (31,2)	1	3,3
Интерметаллические	Fe-Mn-Ti	Fe (43,4), Mn (2,2), Ti (1,4)	1	3,3
	Fe-Mn	Fe (73,4), Mn (3,1), Ti (0,7)	1	3,3
	Fe-Zn-Pb	Fe (55,9), Zn (11,8), Pb (1,0)	1	3,3
Микросферулы	Fe-содержащие	Fe (49,2), O (37,1)	3	10,0
	Ba-содержащая	Ba (42,6), S (0,4), O (28,3), Al (5,2), Si (9,4), Ca (1,2)	1	3,3
	Pb-содержащая	Pb (65,3), O (17,3), Al (0,6), Si (1,1), Fe (1,0)	1	3,3
	Pb-Zn-содержащая	Pb (18,7), Zn (7,1), O (27,7), Al (5,9), Si (11,9), Fe (4,3)	1	3,3

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 30 микрочастиц

Например, в районе *кирпичных заводов* в г. Томске специфичными для нерастворимого осадка снегового покрова являются частицы кирпичной крошки и микрочастицы оксидов вольфрама (таблица 4.3.7). При электронно-микроскопических исследованиях кирпичной крошки выявлено, что элементный состав близок к составу глинистых минералов. При этом сопутствующими микроминеральными фазами являются фазы мусковита (таблица 4.3.3) и

микрочастицы цериевых фосфатов, которые также обнаружены в составе пыли с ПГУ в цехах завода (таблица 4.3.4), что указывает на источники их происхождения в снеговом покрове.

Таблица 4.3.16. – Микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия алюминиевого завода (г. Красноярск)

Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс. %	Кол-во частиц	%*
Содержащие металл и S (предположительно сульфиды)	Pb-S	Pb (42,4), S (3,9)	3	7,5
	Zn-S	Zn (29,5), S (13,1)	2	5
	Sb-S	Sb (10,2), Cu (17,6), Zn (3,8), Fe (0,4), S (10,8)	2	5
	Fe-S	Fe (32,8), S (22,4)	3	7,5
	Cu-Fe-S	Fe (25,3), Cu (20,1), S (22,0)	1	2,5
	Fe-Ni-S	Fe (22,3), Ni (32,6), S (25,2)	4	10
Содержащие металл, S и O (предположительно сульфаты)	Ba-S-O	Ba (22,2), S (6), O (41,2), Sr (2,2)	3	7,5
Содержащие металл и O (оксиды металлов)	Fe-O	Fe (58,5), O (22)	3	7,5
	Al-O (глинозем?)	Al (40,9), O (38,7)	2	5
	Ti-Fe-O	Ti (7,4), Fe(23,3), O (26,4)	1	2,5
	Ti-Zr-O	Ti (22,3), O (33,9), Zr (0,8), Al (5,1), Si (0,7)	1	2,5
Интерметаллические	Fe-Ni-V	Fe (41,4), Ni (13,6), V (3,5)	1	2,5
Содержащие редкоземельные элементы	фосфаты Ce, La, Nd и примеси Th	La (1,8), Ce (5,6), Nd (4,3), Th (1,2), P (7,6), O (47,2)	1	2,5
Фторсодержащие	Al-Na-F (криолит?)	F (46,5), Al (20,5), Na (12,1)	5	12,5

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – встречаемость; всего изучено 40 микрочастиц, включая силикатного, алюмосиликатного состава и микросферулы

Специфической характеристикой нерастворимого осадка снегового покрова в районе размещения заводов по производству железобетонных конструкций и бетона (г. Томск) является наличие кальцита и волластонита (таблица 4.3.3), содержание которых высокое относительно кварца (рисунок 4.3.2), цементной пыли (таблица 4.3.2) и микрочастиц, содержащих Fe в виде интерметаллидов (Fe-Cr-Mn), сульфидов (Fe-S; Fe-As-S; Fe-Cu-S) и оксидов (Fe-O) (таблица 4.3.7). В районе заводов, где изготавливают минеральные изоляционные материалы, например, в г. Юрга, характерным образованием в нерастворимом осадке снегового покрова является стекловолокно (~6%), в составе которого преобладают Si и Ca (Ca – 16,9, Si – 16,1, Al – 7,5, Fe – 2,6, O – 51,2 масс.%).

В нерастворимом осадке снегового покрова в зонах техногенеза металлургического производства, например, в г. Новокузнецке и г. Усть-Каменогорске, специфичными являются частицы шлака металлургического (таблица 4.3.2, рисунок 4.3.6), и еще микросферулы различного состава в районе завода г. Новокузнецка (таблица 4.3.15; рисунок 4.3.9). Микроминеральные фазы, характеризующие специфику воздействия черной металлургии в

Новокузнецке, представлены окислами железа (таблица 4.3.3), а микрочастицы – интерметаллидам с Fe (Fe-Mn-Ti, Fe-Mn, Fe-Zn-Pb) и оксидами Fe, которые вероятно составляют основу шлаков (таблица 4.3.15). Кроме того, нерастворимый осадок снегового покрова отличается наличием микросферул различного состава – железо, свинец, барий и свинец-цинк-содержащие (таблица 4.3.15).

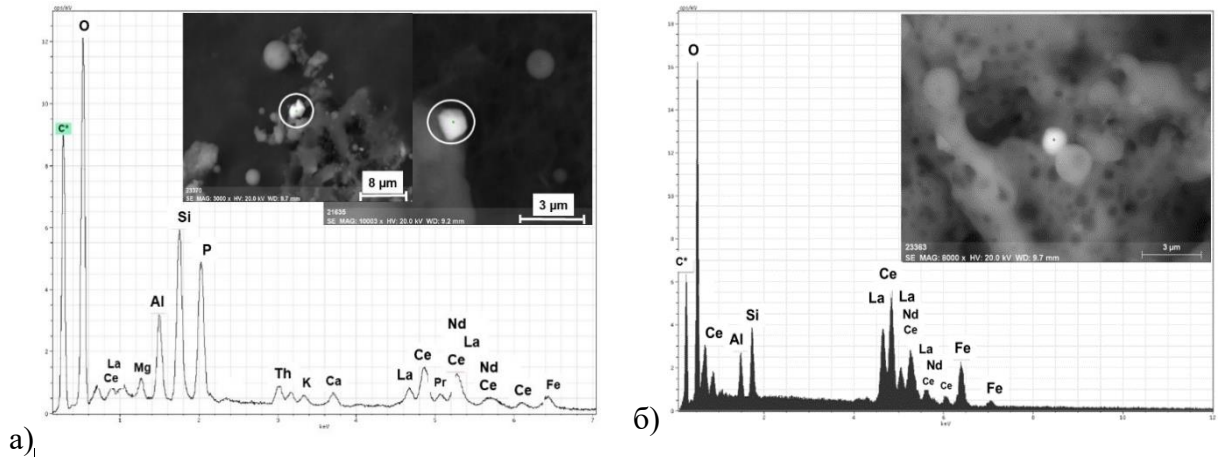


Рисунок 4.3.3. – Фото и энергосперсионный спектр микрочастиц, содержащие редкоземельные элементы в нерастворимом осадке снегового покрова в районе нефтеперерабатывающего завода (г. Омск): а) фосфаты цериевые; б) оксиды лантаноидов (метод СЭМ)

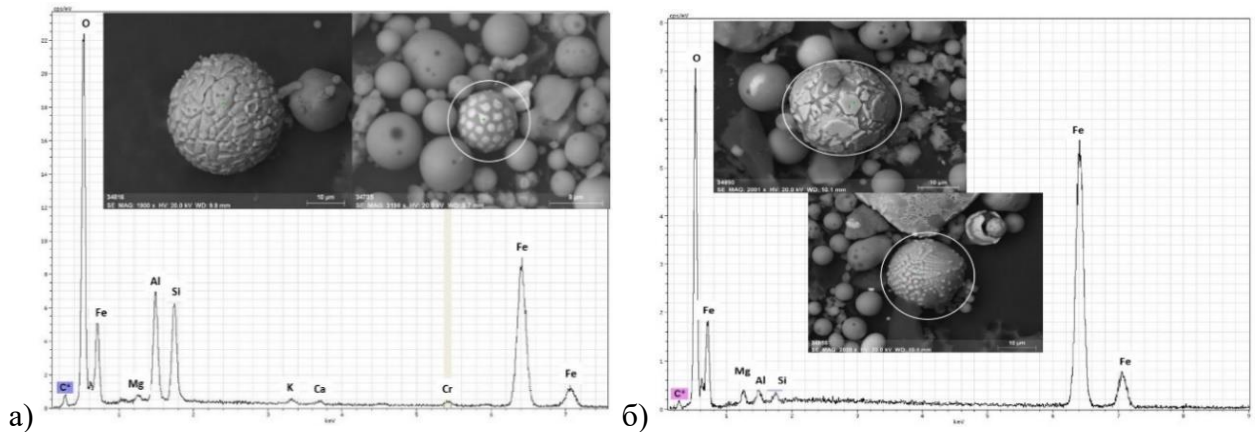


Рисунок 4.3.4. – Фото и энергосперсионный спектр железосодержащих (металлических) микросферул в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях промзоны (г. Юрга): а) машиностроительный завод; б) ТЭЦ (метод сканирующей электронной микроскопии)

Особенностью нерастворимого осадка снегового покрова в окрестностях промзоны г. Усть-Каменогорск является высокая встречаемость микрочастиц, содержащих металлы (Zn, Pb, Cu) в виде сульфидов (Zn-Cu-S, Zn-S, Pb-S), оксидов (Zn-Cu-O, Cu-O) и интерметаллидов (Pb-Fe-Sb), а также микрочастиц оксидов урана (рисунок 4.3.6; рисунок 4.3.10).

В районах, прилегающих к *алюминиевым заводам, например, в Красноярске*, в составе нерастворимого осадка снегового покрова, специфичными являются микроминеральные фазы криолита и корунда (таблица 4.3.3), содержание которых на среднем уровне относительно кварца (рисунок 4.3.2). При электронно-микроскопических исследованиях нерастворимого осадка

снегового покрова выделяются микрочастицы оксидов Al, а также фторсодержащие микрочастицы (рисунок 4.3.10). Следует отметить, что полиморфные модификации корунда обнаружены в снеговом покрове в районе алюминиевых заводов, расположенных в г. Шелехово и г. Братске (Федорова, 2008). Выделенные техногенные образования обусловлены составом исходного сырья и добавок. Так, корунд является основой глинозема, исходного сырья, получаемого в основном из бокситовых и нефелиновых руд на глиноземных заводах, а криолит применяется в электролитическом процессе для получения алюминия на заводах.

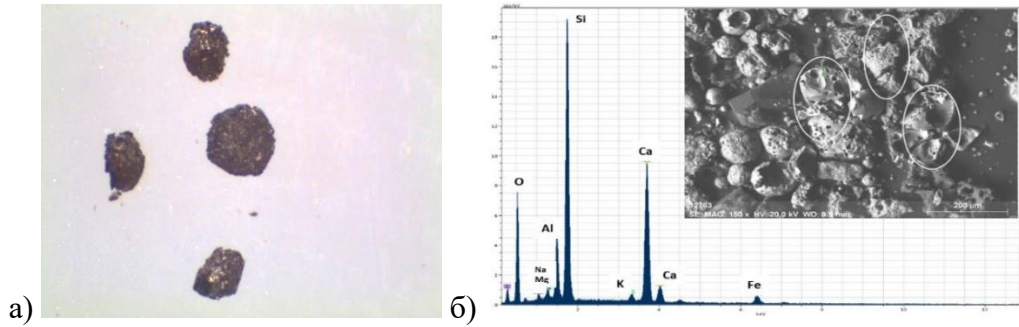


Рисунок 4.3.5. – Частицы шлака металлургического в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях промышленной зоны (г. Юрга): а) фото на бинокулярном микроскопе (увел. 35х); б) фото и энергодисперсионный спектр на сканирующем электронном микроскопе

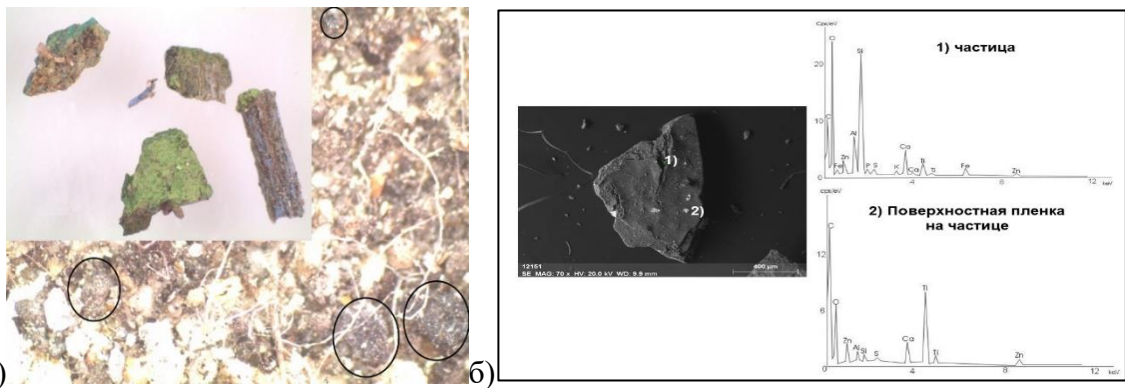


Рисунок 4.3.6. – Металлургический шлак в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях промзоны г. Усть-Каменогорска: а) фото на бинокулярном микроскопе (увел. 35х); б) фото и энергодисперсионный спектр на сканирующем электронном микроскопе

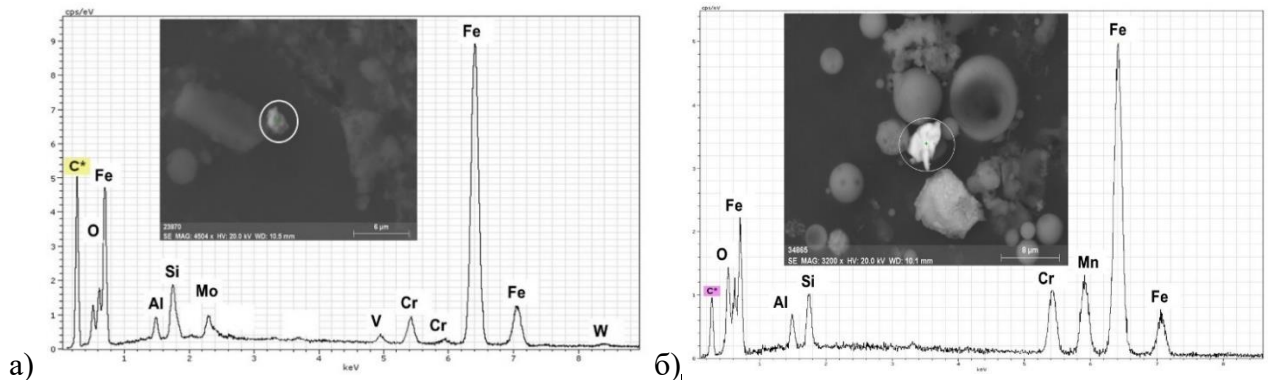


Рисунок 4.3.7. – Фото и энергосперсионный спектр интерметаллических микрочастиц в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия промужла с предприятиями машиностроительного и металлообрабатывающего комплекса: а) Fe-Cr-Mo-V (г.Омск); б) Fe-Cr-Mn (г. Юрга) (метод сканирующей электронной микроскопии)



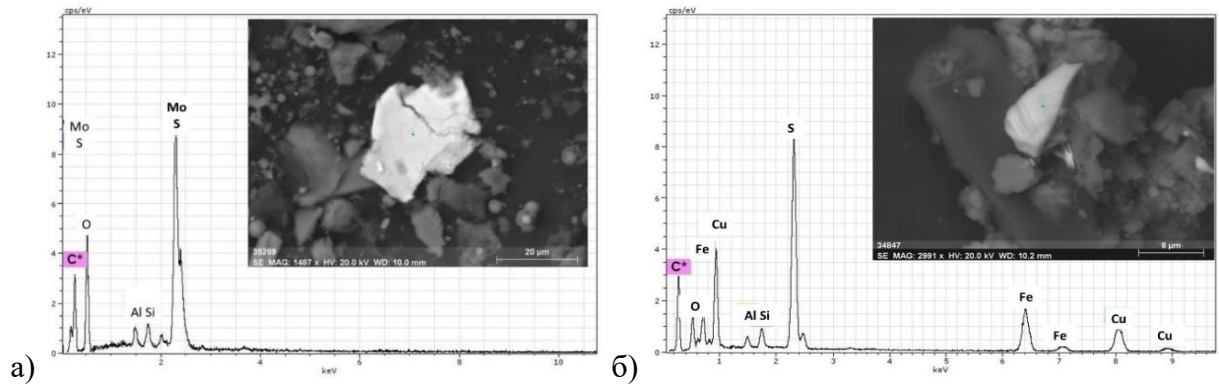


Рисунок 4.3.8. – Фото и энергосперсионный спектр микрочастиц, близкие по составу к сульфидам, в нерастворимом осадке снежного покрова в зоне воздействия Сорского ГОКа: а) Mo-S; б) Cu-Fe-S (метод сканирующей электронной микроскопии)

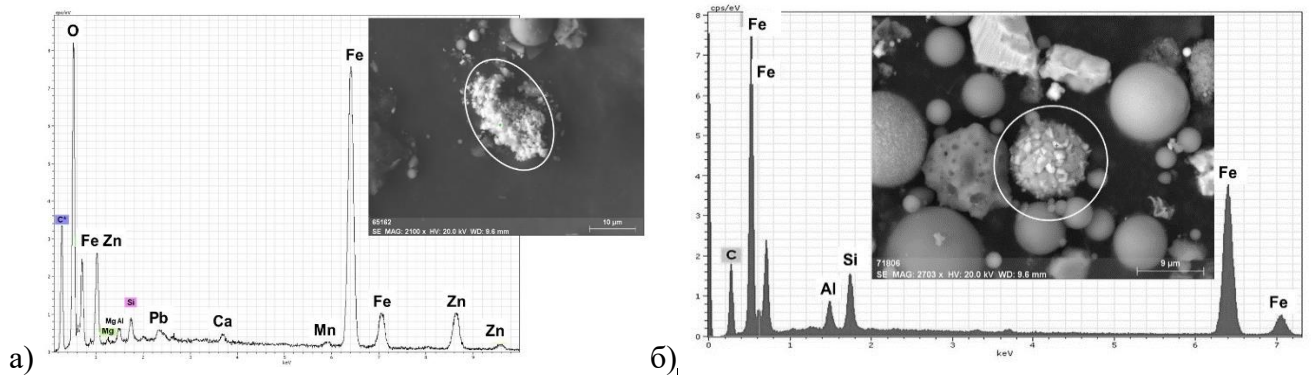
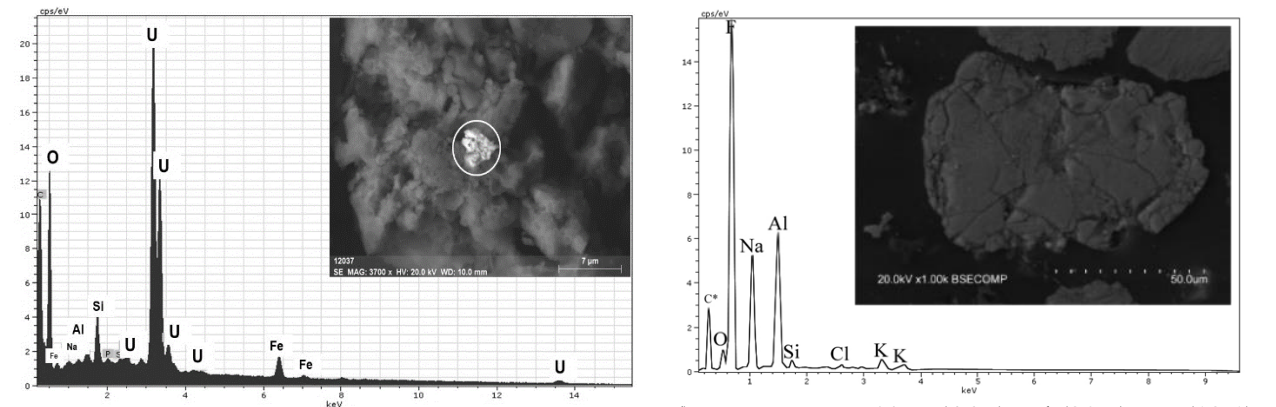


Рисунок 4.3.9. – Металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снежного покрова в зоне воздействия металлургического комбината (г. Новокузнецк): а) интерметаллид (Fe-Zn-Pb-Mn); б) железосодержащая микросфера (метод сканирующей электронной микроскопии)



а) средний масс. %: U (36,4), O (37,5);  
частота встречаемости – 1 %

б) средний масс. %: F (46,5), Al (20,5), Na (12,1);  
частота встречаемости – 12,5 %

Рисунок 4.3.10. – Фото и энергосперсионный спектр микрочастиц в нерастворимом осадке снежного покрова: а) оксиды урана (окрестности промзоны, г. Усть-Каменогорск); б) фторсодержащие (зона воздействия алюминиевого завода, г. Красноярск) (метод СЭМ)

Таким образом, на урбанизированных территориях юга Сибири минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снежного покрова отличается доминированием техногенных (39–90%) над природными (10–61%) образованиями. Природные минеральные образования представлены кварцем, полевыми шпатами, карбонатами, слюдами и глинистыми минералами, которые характеризуются преимущественно терригенным происхождением. Техногенные

образования составляют микроминеральные фазы (алюмосиликаты, силикаты, карбонаты, фториды, ферриты, оксиды железа, оксиды алюминия, сульфиды, до 25%), микрочастицы металлов и металлоидов (сульфиды, сульфаты, оксиды, интерметаллиды, фосфаты, до 5%) и прочие техногенные частицы (компоненты строительной, угольной, металлургической пыли, микросферулы, до 70%). В зонах воздействия предприятий (нефтеперерабатывающие, нефтехимические, металлургические, машиностроительные и металлообрабатывающие, угле- и горнодобывающие, стройиндустрии) выделены индикаторные техногенные образования, которые обусловлены производственной спецификой предприятий. Для определения генезиса аэрозолей предложено использовать отношение минерал-индикатор/кварц.

#### 4.4. Динамика пылевой нагрузки и геохимических особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова на территории г. Томска

Анализ данных площадных снегогеохимических съемок на территории г. Томска в 2007 г. и 2015 г. показал, что в эти два периода наблюдений уровень пылевой нагрузки соответствовал низкому уровню загрязнения с неопасной экологической ситуацией по общепринятым градациям и среднему уровню загрязнения относительно фона (таблица 4.4.1). Выявлены достоверно статистически незначимые различия пылевой нагрузки в 2007 г. и 2015 г., что может свидетельствовать о схожих факторах воздействия в зимние периоды этих лет.

Основу нерастворимого осадка снегового покрова на территории г. Томска составляют техногенные образования (50,5–79,4%), а также в пробах содержатся природные образования, формирующие пылевую нагрузку на территорию города (таблица 4.3.1–4.3.2; рисунок 4.3.1).

Отмечается динамика уменьшения от 3 до 9 раз пылевой нагрузки в 2007–2015 гг. по сравнению с данными для периодов 1979–1989 гг. (Аэрозоли..., 1993) и 1993–1996 гг. (Ильченко, 2000; Летувнинкас, 1999; 2002) (таблица 4.4.2). Эти тренды обусловлены тем, что с 1990-х годов и по настоящее время происходило закрытие, изменение и/или сокращение производственных мощностей промышленных предприятий. Хотя, с 1980 г. по 2000 г. прогнозируемый суммарный приток атмосферной примеси на подстилающую поверхность составлял бы  $40 \cdot 10^6$  мкг/дм<sup>2</sup> при условии его стабильности притока пыли на уровне 1974–1980 гг. (Аэрозоли..., 1993).

Таблица 4.4.1. – Оценки числовых характеристик пылевой нагрузки на территорию г. Томска по данным снегогеохимической съемки в 2007 г. и 2015 г., мг/(м<sup>2</sup>·сут.)

Год	n	m	X <sub>med</sub>	Min	Max	δ	KB	Уровень загрязнения		Уровень опасности
2007	69	63,0	49,1	16	303	5,9	77,7	Низкий*	Средний**	Неопасный***
2015	101	79,4	38,6	8,1	729	11,5	145			

n – объем выборки, m – среднее, X<sub>med</sub> – медиана, δ – стандартная ошибка, KB – коэффициент вариации; градации: \* – Геохимия..., 1990; \*\* – относительно фона; \*\*\* – Касимов и др., 2012

В целом на территории города в 2007 г. и 2015 г. пространственное распределение пылевой нагрузки имеет неоднородный характер, что отчётливо прослеживается на картах-схемах (рисунок 4.4.1) и коэффициентам вариации (таблица 4.4.1).

Таблица 4.4.2. – Временные тренды пылевой нагрузки на территорию г. Томска с 1979 г. по 2015г.

Год	Пылевая нагрузка, мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Литературные ссылки
Территория г. Томска		
1979 г.	494	Бояркина А.П. с соавт. (Аэрозоли..., 1993)
1980 г.	301	
1982 г.	98,4	
1989 г.	152	
среднее 1979–1989 гг.	254	
1993–1996 гг.	610	Летувнинкас, 1999; Ильченко, 2000; 2002
2006 г.	49,0	Иванов, 2007
2007 г.	63,0	Данные автора
2015 г.	79,4	
Фоновые районы		
1979 г., 230 км к северу от города	4,1	Бояркина А.П. с соавт. (Аэрозоли..., 1993)
1979 г., 43 км к западу от города	20,3	
1980 г., 51 км к югу от города	18,4	
фон 2000-е гг., Средний Васюган, 400 км от города	7,0	Шатилов, 2001; Язиков, 2006

данные Бояркиной А.П. с соавт. пересчитаны из г/(дм<sup>2</sup>·год) в мг/(м<sup>2</sup>·сут.)

На структуру распределение ореолов пылевой нагрузки могут оказывать орография и преобладающее направление ветра, согласно которому выбросы предприятий, расположенные в южной части города, могут переноситься в север-северо-восточную часть города. Циркуляция воздушных масс также определяется характером жилой застройки, которая изменилась в городе за период мониторинга – активно осуществляется строительство высокоэтажных домов, а также сменяется малоэтажный частный сектор на высокоэтажные микрорайоны (например, в север-северо-восточной и юго-восточной частях). В городе также произошли преобразования в структуре промышленного сектора.

На картах-схемах отчетливо прослеживается в юг-юго-западной и северо-западной частях города увеличение площади ореола пылевой нагрузки с низким уровнем загрязнения относительно фона (<60 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) в 2015 г. в сравнении с характером распределения в 2007 году (рисунок 4.4.1). Это вероятно может быть связано с прекращением деятельности отдельных предприятий в городе (инструментальный, шпалопропиточный, кирпичный), со строительством транспортной развязки в Октябрьском районе (2009–2012 гг.), а также эффективностью природоохранных мероприятий на предприятиях. В 2015 г. появились новые ореолы запылённости снегового покрова – в нагруженных транспортных узлах (пл. Южной, пр. Кирова, на въезде в Академгородок) и в районах строительства новых высокоэтажных жилых кварталов.

На территории города сформировались два устойчивых ореола пылевой нагрузки, расположение которых в 2007 г. и 2015 г. существенно не изменилось (рисунок 4.4.1). Первый ореол формируется в центральной части города (Советский район) и соответствует зоне воздействия ГРЭС-2. В этом ореоле выявлено уменьшение пылевой нагрузки в 2015 г. (60–90 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) по сравнению с данными для 2007 г. (60–120 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)), что может быть связано с эффективными природоохранными мероприятиями на ГРЭС-2. Снижение пылевой нагрузки в данном районе выявлено по результатам нашего многолетнего мониторинга (таблица 4.4.3).

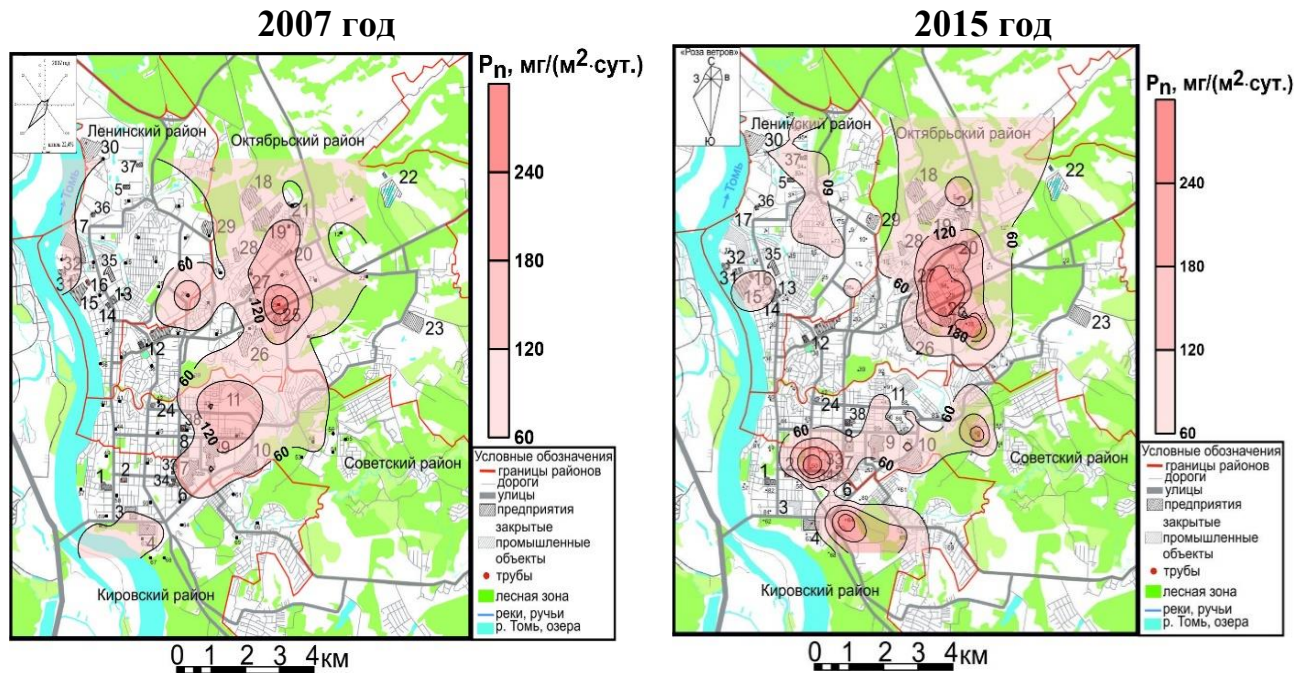


Рисунок 4.4.1. – Карта-схема пространственного распределения пылевой нагрузки на территорию г. Томска, по данным снегогеохимической съемки в 2007 г. и 2015 г.

(1–38 – предприятия: 3 – инструментальный завод (перемещен за город в 2013 г.); 4 – кирпичный завод (закрыт в 2011 г.), 25, 26 – кирпичные заводы; 5, 37 – заводы ЖБК; 9 – ГРЭС-2; 17 – шпалопропиточный завод (закрыт в 2013 г.))

Таблица 4.4.3 – Динамика пылевой нагрузки ( $P_n$ ) в зоне воздействия предприятий г. Томска (2009–2015 гг.)

Зона воздействия предприятия	$P_n$ (мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)) и уровень загрязнения относительно фона						
	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Кирпичные заводы	365	354	244	233	333	213	349
	высокий			средний	высокий	средний	высокий
Заводы ЖБК	105	125	105	56,7	61	87	62
	средний			низкий	средний		
ГРЭС-2	115	89,8	81,8	57,1	44,3	50,8	56,4
	средний			низкий			
Нефтехимический комбинат	65,4	67,4	71,8	45,6	39	58,5	32,1
	средний			низкий			

Второй ореол выделяется в северо-восточной части города (Октябрьский район), где расположены крупные кирпичные заводы и проблемная транспортная зона. В ядре этой пылевого ореола уровень загрязнения как в 2007 г., так и в 2015 г. находится в диапазоне от низкого до

среднего с умеренно-опасной экологической ситуацией по общепринятой градации, а относительно фона – от среднего до высокого уровня. Постоянство формирования ореолов запылённости в этих частях города также подтверждаются данными о высокой плотности выпадения взвешенных веществ на снеговой покров ( $>15$  г/м<sup>2</sup>) по наблюдениям ОГБУ «Облкомприрода» (2009–2014 гг.).

В районах размещения крупных предприятий (ГРЭС-2, кирпичные заводы, НХК, заводы ЖБК) по результатам нашего многолетнего мониторинга (2009–2015 гг.) установлены периоды снижения пылевой нагрузки (таблица 4.4.3), которые обусловлены модернизацией производства и природоохранными мероприятиями на предприятиях согласно официальным данным.

В тоже время, в зоне воздействия кирпичных заводов сохраняется динамика высокого уровня пылевой нагрузки относительно фона (таблица 4.4.3), а по общепринятым градациям – среднего уровня загрязнения, который может сформировать умеренно-опасный уровень заболеваемости. Заболеваемость органов дыхания имеет высокую корреляционную связь с выбросами твердых загрязняющих веществ (Касимов и др., 2014) и мелкодисперсными частицами аэрозоля (Величковский, 2002). Например, заболеваемость органов дыхания детей в 2–3 раза выше в районах с высоким выпадением пыли (Геохимия..., 1990).

Многолетняя (2007 г, 2009–2015 гг.) динамика *геохимических особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова* показывает разный характер распределении химических элементов на территории г. Томска (таблица 4.4.4–4.4.8). По результатам площадной съемки в 2007 г. и 2015 г. распределение большей части рассматриваемых элементов является мультимодальным, а As, Sr, Br, Au, Ta, Eu и Yb – одномодальным. По статистическим критериям в 2007 г. распределение As, Sb, Cr, Ba, Hg, Sr, Eu, Ta, Ce, Sm, Yb, U, Br, Au, а в 2015 г. – всего спектра изучаемых элементов (кроме Cs, Rb, Nd) отличается от нормального закона, что указывает на факторы, влияющие на их распределение. По значению коэффициента вариации неравномерное ( $KV > 50\%$ ) распределение сохраняется в 2007г. и 2015 г. для Sr, Ba, Sb, Br, As, Au, а в 2007 г. еще характерно для Eu и в 2015 г. – Zn и Hg. Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ), U и Th является равномерным ( $KV < 50\%$ ) в эти два зимних периода на территории города.

Сравнительный анализ данных 2007 г. и 2015 г. показывает, что в 2015 г. произошло статистически достоверное увеличение содержания в нерастворимом осадке снегового покрова Na, As, Ca, Fe, Sr, Yb, Co и La, а также уменьшение – Hg, Br, Eu, Au, Ba. Статистически значимых различий в содержании Cr, Sb, U, Th, Ta, Cs, Sc, Rb, Hf и РЗЭ из изучаемого спектра не установлено в период наблюдений (таблица 4.4.4).

В 2015 г. выявлена тенденция статистически достоверного увеличения среднесуточного выпадения на снеговой покров As, Sr, Ca, Th, Tb, Eu, Ba, Cs, Na, Hf, Rb, Sm, а также уменьшения

– Hg, Br, Au, Sb (таблица 4.4.5). Уровни выпадений остального спектра изучаемых элементов незначимо изменились.

Таблица 4.4.4. – Среднее содержание химических элементов и средние величины коэффициентов концентрации ( $K_c$ ) в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Томска по данным площадной снегогеохимической съемки в 2007 г. и 2015 г.

Эл-т	2007 год		2015 год		Фон**
	Содержание, мг/кг	$K_c$	Содержание, мг/кг	$K_c$	
Na*	0,7±0,03	3,5	<b>0,9±003</b>	<b>6,3</b>	0,2
Ca*	1,2±0,05	1,5	<b>1,9±0,1</b>	<b>2,4</b>	0,8
Fe*	2,7±0,1	1,4	<b>3,5±0,1</b>	<b>1,9</b>	1,9
Hg	<b>0,341±0,016</b>	<b>4,3</b>	0,182±0,01	2,3	0,08
As	3,8±0,7	7,6	<b>13,7±0,7</b>	0,7	18,6
Zn	н.о.	н.о.	639±90	4,6	139
Sb	6,8±0,5	3,0	6,8±1,0	3,0	2,3
Co	13,6±0,5	1,3	<b>17,0±0,5</b>	<b>1,7</b>	10,3
Cr	98,5±4	0,9	112±5,4	1,0	110
Ba	<b>858±66</b>	<b>8,6</b>	779±52,6	7,8	100
Sr	178±27,2	1,8	<b>316±24,5</b>	<b>3,2</b>	100
Sc	8,6±0,3	1,2	9,0±0,2	1,3	7,1
Br	<b>12,1±1,1</b>	<b>4,2</b>	2,7±0,3	0,9	2,9
Rb	47±1,7	0,9	45,3±1,3	0,8	55,0
Cs	3,4±0,1	1,0	2,9±0,1	0,8	3,5
La	25,2±0,8	9,0	<b>28,6±0,7</b>	<b>10,2</b>	2,8
Hf	4,7±0,2	2,1	4,9±0,2	2,2	2,2
Au	<b>0,1±0,01</b>	<b>0,3</b>	0,05±0,01	0,2	0,20
Ce	54±1,8	5,2	56,3±1,3	5,5	10,3
Nd	н.о.	н.о.	22,1±0,8	1,5	14,9
Ta	0,8±0,03	8,1	0,8±0,03	4,0	0,2
Sm	4,3±0,2	7,6	4,3±0,1	7,2	0,6
Eu	<b>1,2±0,2</b>	<b>1,1</b>	0,9±0,04	0,8	1,1
Tb	0,7±0,03	11,5	0,6±0,03	10,0	0,06
Yb	1,9±0,1	9,5	<b>2,5±0,06</b>	<b>12,5</b>	0,2
Lu	0,3±0,01	4,1	0,3±0,01	2,3	0,15
Th	6,7±0,2	2,3	6,2±0,2	2,1	2,9
U	2,8±0,1	13,8	2,8±0,1	13,8	0,2
Th/U	2,4	–	2,2	–	14,5
La+Ce/ Yb+Lu	36,5	–	30,6	–	37,4

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ; н.о. – не определялось; \* – содержание в %; \*\* фон – опубликованные данные (Шатилов, 2001; Язиков, 2006); фон для As, Nd, Hg, Zn – данные автора; жирный шрифт – статистически значимые высокие значения; кол-во проб в 2007 г. – 69, в 2015 г. – 101

По прогнозам А.П. Бояркиной с соавторами (Аэрозоли..., 1993), в период с 1980 г. по 2000 г. общее количество выпадений Hg, As, Ag, Cr, Au, Br, Sb, Sc, Co должно было бы составить от 6 до 280 мкг/дм<sup>2</sup>, Na и Fe – от 3 до 80 мг/дм<sup>2</sup> при условии стабильности атмосферных выбросов на уровне 1980-х гг. С начала XX века к 2000 г. количество Co и Sc должно было бы удвоиться, а Fe – увеличится в 6 раз. Исходя из наших данных для 2007 г. и 2015 г., эти прогнозы не подтвердились. С 1980-х годов (1980–1989 гг.; Аэрозоли..., 1993) по 2000-е года (2007–2015 гг.) прослеживается динамика существенного уменьшения, от 2 до 9 раз, выпадений на снеговой

покров макроэлементов (Ca, Na, Fe) и микроэлементов (Rb, Sc, Ce, Sm, La, Lu, Yb Th, U, Cr), а также от 5 до 30 раз – Br и Au, что может свидетельствовать о снижении техногенной геохимической нагрузки на территорию г. Томска за 35-летний период (рисунок 4.4.2). В северных и северо-восточных частях города уровни выпадений химических элементов составляло в 2–6 раз больше, чем на остальной территории города (Аэрозоли..., 1993).

Таблица 4.4.5. – Средние величины среднесуточного выпадения элементов ( $P_{\text{общ}}$ ) и коэффициентов превышения выпадений над фоном ( $K_p$ ) на территории г. Томска по данным площадной снегогеохимической съемки в 2007 г. и 2015 г.

Эл-т	2007 год		2015 год		Фон**
	$P_{\text{общ}}$ , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)	$K_p$	$P_{\text{общ}}$ , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)	$K_p$	
Na*	452±63,4	43,1	<b>853±139</b>	81,3	10,5
Ca*	721±76,4	12,6	<b>1545±230</b>	27,1	57
Fe*	1744±191	13,3	2526±332	19,4	130
Hg	<b>20,6±2,2</b>	17,2	8,86±0,694	7,0	1,2
As	236±48,4	67,5	<b>895±140</b>	7,6	117
Zn	н.о.	н.о.	38787±7571	44,1	879
Sb	<b>371±33,1</b>	23	312±27	19,4	16,1
Co	863±88,3	12	1337±201	18,5	72,1
Cr	5927±552	7,7	7394±933	9,6	770
Ba	47207±3569	67,4	<b>51227±6746</b>	73,2	700
Sr	9501±1513	13,6	<b>20946±2726</b>	29,9	700
Sc	572±71,8	11,5	757±120	15,2	49,7
Br	<b>706±80,3</b>	34,8	119±24	5,8	20,3
Rb	3095±383	8,0	<b>4012±699</b>	10,4	385
Cs	223±29,5	9,1	<b>244±40,9</b>	<b>9,9</b>	24,5
La	1557±154	79,4	2283±298	116	19,6
Hf	300±34,7	19,5	<b>427±75,1</b>	27,7	15,4
Au	<b>3,6±0,5</b>	2,3	1,3±0,2	0,9	1,5
Ce	3398±343	47,1	4403±634	61,1	72,1
Nd	н.о.	н.о.	1646±208	18,6	88,7
Ta	50,0±5,0	71,4	64,6±10,5	92,3	0,7
Sm	273±29,5	68,6	<b>357±55,9</b>	89,3	4,0
Eu	76,0±10,6	9,9	<b>76,5±12,6</b>	<b>9,9</b>	7,7
Tb	43,9±4,7	104	<b>53,7±8,4</b>	134	0,4
Yb	120±12,7	85,4	207±31,9	148	1,4
Lu	19,8±2,2	37,7	28,1±4,5	57,5	0,5
Th	426±47,2	21	<b>507±79,8</b>	25,4	20,3
U	171±17,9	122	205±25,5	154	1,4

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ; н.о. – не определялось; \* – содержание в г/(км<sup>2</sup>·сут.); \*\* фон – опубликованные данные (Шатилов, 2001; Язиков, 2006); фон для As, Nd, Hg, Zn – данные автора; жирный шрифт – статистически значимые высокие значения; кол-во проб в 2007 г. – 69, в 2015 г. – 101

В период наблюдений установлено сохранение геохимических ассоциаций лантаноидов-Th-Rb-Hf-Cs-Sc в нерастворимом осадке снегового покрова в 2007 г. и 2015 г. (рисунок 4.4.3). В тоже время, в 2015 г. определена закономерность формирования геохимических ассоциаций с наличием элементов, для которых выявлены изменения временных трендов концентрирования в нерастворимом осадке снегового покрова.

Таблица 4.4.6. – Мониторинг уровней концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия нефтехимического комбината с 2009 г. по 2016 г., мг/кг

Год	Na,%	Ca,%	Fe,%	Hg	As	Zn	Sb	Co	Cr	Ba	Sr	Sc	Br	Rb
2009 г.	0,6	0,9	3,8	0,416	9,8	212	4,8	16,9	110	1068	277	11,2	20,6	63,0
2010 г.	0,5	1,4	4,2	0,506	6,8	182	4,8	17,8	106	815	287	12,3	8,1	66,3
2011 г.	0,5	1,2	3,1	0,607	2,7	337	1,5	13,8	112	597	190	8,6	6,5	41,1
2012 г.	0,6	1,1	2,7	0,371	9,0	197	4,6	11,5	227	568	191	7,9	2,7	41,5
2013 г.	0,5	1,4	3,1	0,335	8,3	155	2,3	14,8	107	965	241	10,9	13,9	55,0
2014 г.	0,4	1,2	2,5	0,243	4,4	225	4,3	11,3	79	580	234	6,5	5,2	45,0
2015 г.	0,3	1,2	2,4	0,188	6,0	314	3,5	10,9	156	628	184	6,1	4,1	27,2
2016 г.	0,3	1,2	1,6	0,192	4,3	177	2,3	9,0	111	434	210	4,9	4,0	22,7
2009–2016 гг.	0,5	1,2	2,9	0,357	6,4	225	3,5	13,3	126	707	227	8,6	8,1	45,2
Фон*	0,2	0,8	1,9	0,08	18,6	139	2,3	10,3	110	100	100	7,1	2,9	55
Год	Cs	La	Hf	Au	Ce	Nd	Ta	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Th	U
2009 г.	4,7	45,6	7,7	0,03	80,3	36,3	1,5	6,9	1,3	1,1	3,5	0,5	13,9	5,8
2010 г.	5,8	48,4	7,9	0,02	98,3	37,5	1,7	7,3	1,6	1,2	4,0	0,5	15,8	5,8
2011 г.	4,3	37,8	5,9	0,03	78,5	31,4	1,1	5,7	1,1	0,8	2,8	0,4	11,8	4,2
2012 г.	3,6	33,3	5,4	0,01	63,8	24,9	1,1	5,1	0,8	0,7	2,6	0,4	9,1	3,9
2013 г.	4,2	49,8	8,0	0,02	97,2	36,9	1,9	7,5	1,4	1,2	3,9	0,5	15,3	5,4
2014 г.	3,5	31,5	5,1	0,02	69,6	26,4	1,1	4,9	0,9	0,7	2,6	0,4	9,6	4,0
2015 г.	2,4	25,1	4,0	0,01	58,0	19,1	0,6	3,7	0,7	0,4	1,8	0,3	6,9	2,7
2016 г.	1,8	18,4	3,3	0,9	42,0	16,7	0,7	3,3	0,5	0,4	1,5	0,2	5,6	3,2
2009–2016 гг.	3,8	36,2	5,9	0,1	73,5	28,6	1,2	5,6	1,1	0,8	2,8	0,4	11,0	4,4
Фон*	3,5	2,8	2,2	0,2	10,3	14,9	0,2	0,6	1,1	0,06	0,2	0,2	2,9	0,2

\* – см. примечание к табл. 4.4.4; среднее значение по 5 пробам в каждом году, в 2016 г. – 16 проб



Таблица 4.4.7. – Мониторинг уровней концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия кирпичных заводов с 2009 г. по 2015 г., мг/кг

Год	Na,%	Ca,%	Fe,%	Hg	As	Zn	Sb	Co	Cr	Ba	Sr	Sc	Br	Rb
2009 г.	1,2	1,1	3,2	0,131	9,8	179,4	2,7	14,7	93	677	193	11,7	1,2	71,3
2010 г.	1,3	1,9	4,0	0,134	11,3	212,8	2,4	17,4	111	548	149	14,0	3,1	77,0
2011 г.	1,1	1,3	3,2	0,086	4,2	169,6	1,2	15,0	104	441	119	11,7	3,8	73,7
2012 г.	1,0	1,8	3,6	0,130	14,9	272,3	3,8	17,2	90	550	208	11,9	4,0	67,9
2013 г.	1,1	1,7	3,4	0,110	7,9	213,7	2,1	14,8	101	487	165	12,6	0,7	75,2
2014 г.	1,2	1,8	3,4	0,043	7,9	242,5	1,9	14,7	100	538	198	12,3	2,2	72,2
2015 г.	1,3	1,6	3,1	0,046	4,1	233,0	1,9	13,8	94	466	188	11,7	0,3	63,0
2009-2015 гг.	1,2	1,6	3,4	0,096	8,5	217,8	2,3	15,3	99	529	175	12,2	2,2	71,3
Фон*	0,2	0,8	1,9	0,08	18,6	139	2,3	10,3	110	100	100	7,1	2,9	55
Год	Cs	La	Hf	Au	Ce	Nd	Ta	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Th	U
2009 г.	4,5	30,9	7,2	0,02	63,4	25,9	1,0	5,4	1,3	0,8	2,9	0,4	8,6	2,9
2010 г.	5,2	36,8	8,0	0,01	85,4	27,6	1,1	6,6	1,5	1,0	3,6	0,5	9,9	3,3
2011 г.	3,5	28,7	7,8	0,01	62,6	26,4	0,9	5,1	1,2	1,0	3,0	0,4	7,5	2,5
2012 г.	4,1	34,1	6,0	0,02	69,5	26,6	0,9	5,6	1,2	0,8	3,1	0,4	8,6	3,5
2013 г.	4,2	31,2	8,0	0,01	67,3	25,7	1,0	5,4	1,4	0,9	3,1	0,4	9,0	2,5
2014 г.	4,1	30,6	7,6	0,01	66,8	22,8	1,1	5,4	1,3	0,9	3,1	0,5	8,8	2,7
2015 г.	3,9	29,8	7,4	0,01	61,4	23,1	0,9	5,5	1,2	0,7	3,2	0,5	8,2	2,8
2009-2015 гг.	4,2	31,6	7,4	0,01	67,5	25,4	1,0	5,6	1,3	0,9	3,1	0,4	8,6	2,9
Фон*	3,5	2,8	2,2	0,2	10,3	14,9	0,2	0,6	1,1	0,06	0,2	0,2	2,9	0,2

\* – см. примечание к табл. 4.4.4; среднее значение по 5 пробам в каждом году

Таблица 4.4.8. – Мониторинг уровней концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия заводов по производству железобетонных конструкций и бетона с 2009 г. по 2015 г., мг/кг

Год	Na,%	Ca,%	Fe,%	Hg	As	Zn	Sb	Co	Cr	Ba	Sr	Sc	Br	Rb
2009 г.	0,6	1,3	2,8	0,337	9,5	255,8	4,5	16,1	60	759	309	8,5	5,1	42,5
2010 г.	0,6	4,9	3,4	0,309	14,0	435,2	6,4	16,4	72	581	310	9,1	4,4	39,4
2011 г.	0,7	2,4	4,1	0,253	10,0	672,6	3,7	22,9	121	672	437	11,0	7,2	52,3
2012 г.	0,8	2,3	3,5	0,290	14,0	316,9	4,6	18,6	72	706	328	10,9	3,3	48,2
2013 г.	0,6	2,7	3,1	0,181	14,3	339,0	5,9	18,8	79	724	271	9,2	4,0	46,2
2014 г.	0,8	2,3	3,6	0,136	7,5	293,6	3,6	15,6	95	562	266	8,2	3,4	42,9
2015 г.	0,8	1,9	4,5	0,160	9,5	376,7	5,5	17,0	107	598	217	8,4	0,8	40,0
2009–2015 гг.	0,7	2,7	3,7	0,219	11,5	404,6	4,9	18,3	92	643	304	9,5	3,8	45,0
Фон*	0,2	0,8	1,9	0,08	18,6	139	2,3	10,3	110	100	100	7,1	2,9	55
Год	Cs	La	Hf	Au	Ce	Nd	Ta	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Th	U
2009 г.	2,7	32,5	5,5	0,03	69,1	26,3	1,1	4,8	1,0	0,8	2,6	0,3	8,8	4,0
2010 г.	2,5	31,8	5,2	0,01	63,3	23,8	0,8	4,9	1,1	0,7	2,5	0,3	7,6	4,0
2011 г.	3,2	34,4	5,7	0,06	69,8	35,9	0,9	5,2	1,3	0,8	2,5	0,4	8,8	4,6
2012 г.	3,6	36,7	4,2	0,01	73,3	26,3	1,1	5,8	1,2	0,8	3,0	0,4	9,6	4,4
2013 г.	2,8	32,4	5,5	0,02	68,3	29,1	1,2	5,3	1,1	0,9	2,7	0,4	9,1	4,1
2014 г.	2,3	28,2	5,0	0,004	59,1	20,8	0,9	4,4	1,0	0,7	2,4	0,3	7,3	3,1
2015 г.	2,1	25,8	4,4	0,01	48,4	20,3	0,7	4,1	0,9	0,9	2,5	0,4	6,5	2,8
2009–2015 гг.	2,8	31,5	5,0	0,02	63,7	26,1	0,9	4,9	1,1	0,8	2,6	0,4	8,2	3,8
Фон*	3,5	2,8	2,2	0,2	10,3	14,9	0,2	0,6	1,1	0,06	0,2	0,2	2,9	0,2

\* – см. примечание к табл. 4.4.4; среднее значение по 5 пробам в каждом году

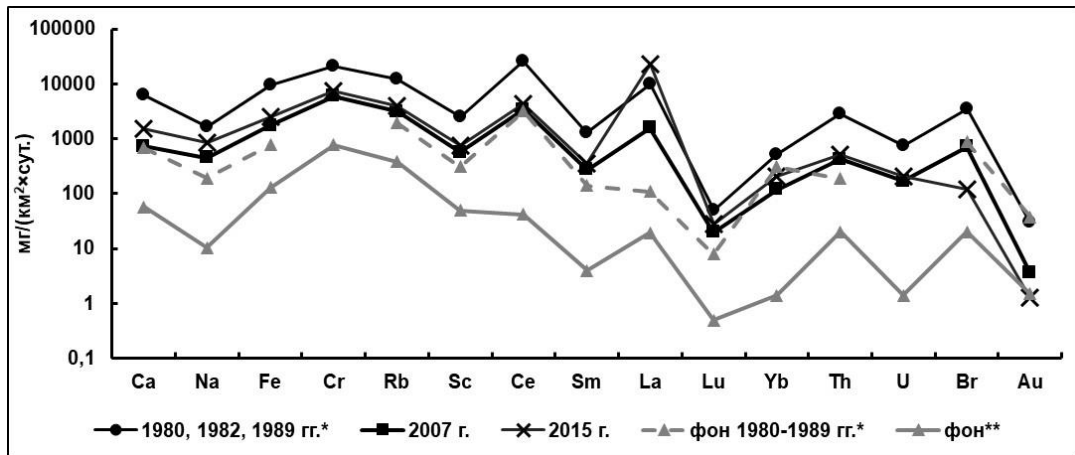


Рисунок 4.4.2. – Временные тренды выпадений химических элементов на снеговой покров на территории г. Томска (\* – данные Бояркиной А.П. с соавт. (Аэрозоли..., 1993), пересчитанные из мкг/(дм<sup>2</sup>·год) в мг/(км<sup>2</sup>·сут.); \*\* – фон (Шатилов, 2001; Язык, 2006))

По результатам площадной снегеохимической съемки, установлена пространственно-временная изменчивость формирования геохимических ореолов на территории города в период наблюдения (2007–2015 гг.) (рисунок 4.4.4–4.4.5). В центральной части города (Советский район) выявлены наиболее заметные пространственно-временные изменения в распределении геохимических ореолов. В 2007 г. формируются геохимические ореолы Hg и Br (рисунок 4.4.4), приуроченные к району размещения ГРЭС-2, тогда как в 2015 г. ореолы не наблюдались. Однако, в 2015 г. сформировались геохимические ореолы As, Sr, U, Th и лантаноидов на территории, охватывающие зону воздействия ГРЭС-2, тогда как на картах-схемах 2007 г. ореолы этих элементов не проявлялись (рисунок 4.4.5).

Закономерности образования геохимических ореолов в центральной части города могут быть обусловлены влиянием ГРЭС-2 с учетом топливного баланса. Увеличение доли использования угля в 2015 г. ( $\approx 58\%$ ) по сравнению с таковой в 2007 г. ( $\approx 27\%$ ) могло привести к усилению техногенной нагрузки, создаваемой поступлением элементов за счет сжигания угля. Угли Кузнецкого бассейна, используемые на ГРЭС-2, характеризуются редкометалльной геохимической специализацией (Арбузов, 2007; Волостнов и др., 2012). Соответственно при сжигании угля эмиссия микроэлементов может происходить в составе твердых частиц или парогазовой фазы (Xu et al., 2003; Юдович, Кетрис, 2005).

Свидетельством о вкладе выбросов ГРЭС-2 в формирование геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова на территории Томска может являться отражение на дендрограмме корреляционной матрицы (рисунок 4.4.3) геохимических ассоциаций La-Yb-Sm-Lu-Sc, Hg-Br, характерных для нерастворимого осадка снегового покрова из зоны воздействия ГРЭС-2 (раздел 5.3, рисунок 5.3.2). В зоне воздействия ГРЭС-2 по результатам многолетних наблюдений (2009–2018 гг.), которые представлены в разделе 5.6, сохраняются повышенные уровни концентрации As, Sr, Co, Ba, Zn, Hg, U, Th и РЗЭ в нерастворимом осадке снегового

покрова относительно фона и среднегородских уровней, а также содержания в пробах из зоны воздействия предприятий по производству стройматериалов и нефтехимического производства (Таловская и др., 2019). Другим свидетельством влияния выбросов от сжигания угля на формирование микроэлементного состава нерастворимого осадка снегового покрова на территории города являются результаты наших многолетних ежемесячных наблюдений в зимние сезоны с 2001 г. по 2007 г. в кампусе ТПУ, Академгородке и пригороде. В этих районах прослеживалась динамика увеличения концентрации редкоземельных элементов, U и Th в нерастворимом осадке снегового покрова с декабря по февраль, т.е. в период интенсификации работы предприятий теплоэнергетики (Таловская, 2008; Язиков и др., 2010).

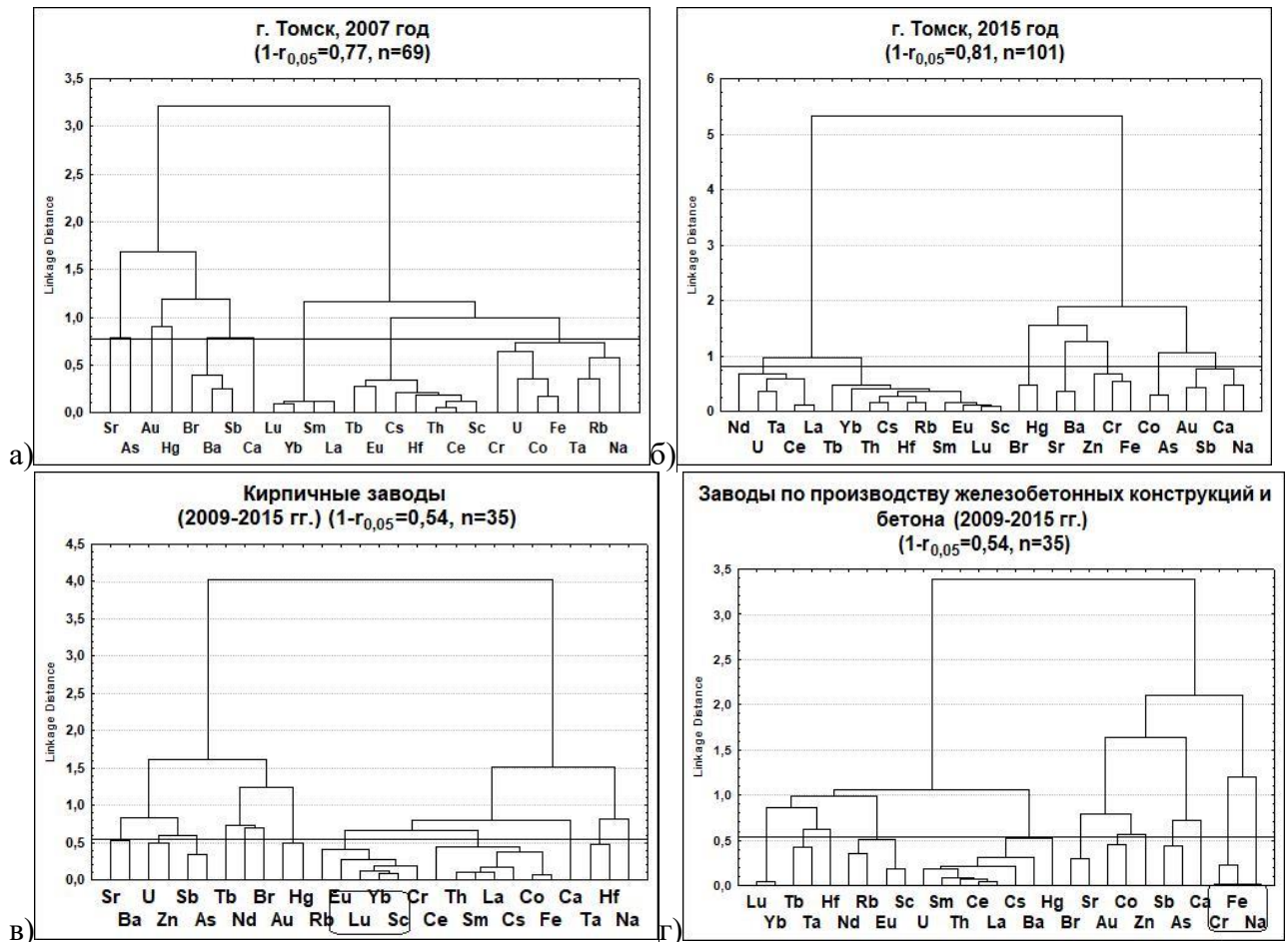


Рисунок 4.4.3. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Томска (а-б) и в зонах воздействия предприятий (в-г) по данным многолетнего мониторинга (2007–2015 гг.)

Промышленными источниками Hg и Vg в городе могут являться ГРЭС-2 и нефтехимический комбинат (НХК). Использование более высокой доли природного газа ( $\approx 73\%$ ) в топливном балансе ГРЭС-2 в 2007 г. по сравнению с таковой для 2015 г. ( $\approx 42\%$ ) вероятно увеличивало эмиссию Hg и Vg в атмосферный воздух города, которая затем осаждалась в снеговой покров. Ртуть содержится в качестве примеси как в природном газе (Рыжов и др., 1998), так и в углях Кузнецкого бассейна (Арбузов и др., 2015).

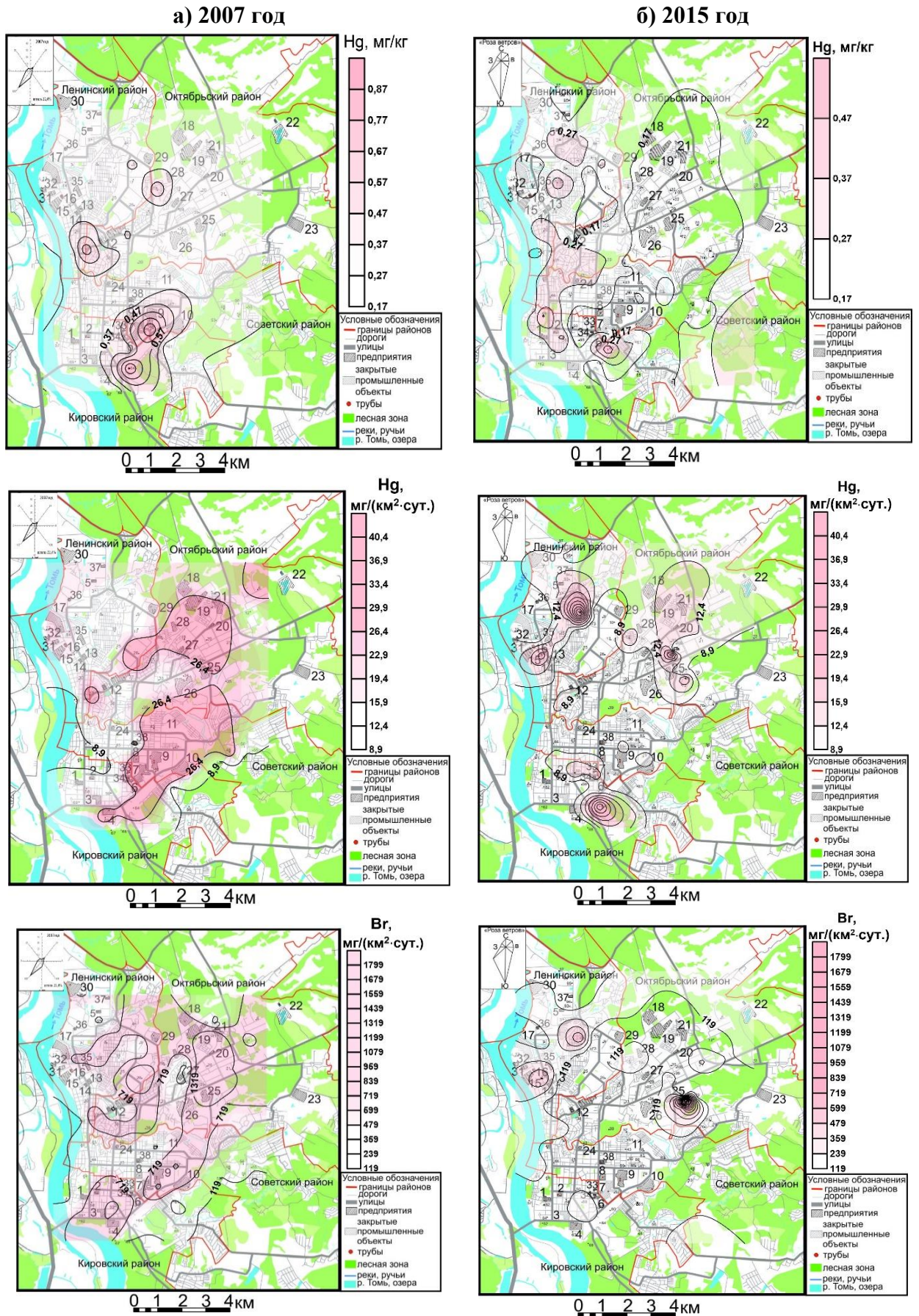


Рисунок 4.4.4. – Карты-схемы пространственного распределения Hg и Vg на территории г. Томска по данным площадной снегогеохимической съемки в 2007 г. (а) и 2015 г. (б) (см. рис. 4.4.1)

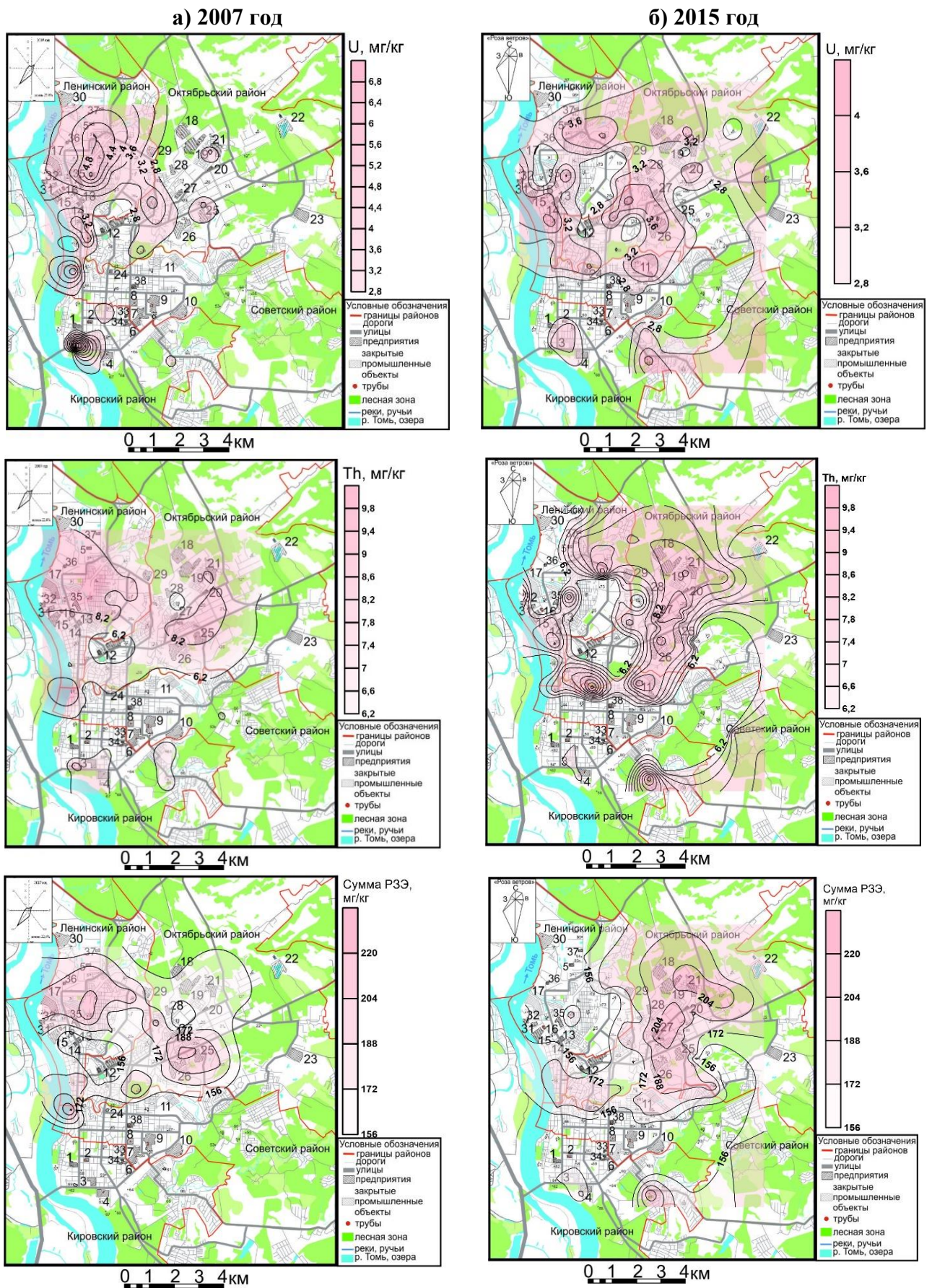


Рисунок 4.4.5. – Карты-схемы пространственного распределения содержания U, Th и P3Э в нерастворимом осадке снегового покрова на территории г. Томска в 2007 г. (а) и 2015 г. (б) (см. рис. 4.4.1)

На территории г. Томска ореолы повышенного содержания ртути в атмосферном воздухе (Ляпина, 2012) и почво-грунтах (Рихванов и др., 2010; Ляпина, 2012) приходились также на район расположения ГРЭС-2. Следует отметить, что динамика уменьшения концентрации Hg в 3 раза с 2006 г. по 2017 г. характерна и для почвогрунтов города (Ляпина, 2020). Тенденция снижения накопления Hg в компонентах природной среды, может быть связана как с глобальным уменьшением технофильности Hg (Касимов, Власов, 2012), так и с технологическими изменениями на предприятиях и ТЭС Томска. В районе расположения НХК бром определен как индикаторный химический элемент для нерастворимого осадка снегового покрова (Экология..., 1994; Шатилов, 2001; Язиков, 2006), почв (Экология..., 1994; Язиков, 2006) и живого вещества (Барановская, 2011).

В период многолетних наблюдений (2009–2016 гг.) в нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия НХК выделяется корреляционная связь Hg-Br (2011–2016 гг.:  $r \approx 0,61$ ; 2011 г.:  $r \approx 0,5$ , 2014 г.:  $r \approx 0,9$  и 2015 г.:  $r \approx 0,8$ ), указывая на единый источник эмиссии, вероятно факела сжигания природного газа и нефтяных (бензиновых) фракций, поскольку при сжигании органического топлива происходит эмиссия этих элементов (Янин, 1992; 2002; Симоненков, 2015). Результаты многолетнего мониторинга показали статистически значимые высокие уровни накопления Br и Hg в нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия НХК в сравнении с таковыми для проб из окрестностей других изучаемых предприятий в городе (таблица 4.2.6). В данном районе наблюдений нами установлена высокая доля водорастворимых форм Br ( $> 80\%$  от общей массы в снеге), способные легко мигрировать с водными потоками и включаться в трофические цепи, а также определено преобладание твердофазных форм Hg ( $> 60\%$  от общей массы в снеге) (Филимоненко, 2015).

В период наблюдений концентрация Br в нерастворимом осадке снегового покрова изменялась от 1,5 до 7 фонов, а Hg – от 2,4 до 7,6 фонов в пробах из зоны воздействия НХК (таблица 4.4.6). Прослежена динамика снижения в 2 раза уровней накопления Br и Hg в нерастворимом осадке снегового покрова с 2009 г. по 2016 г., что также могло оказать влияние на формирование геохимических особенностей состава городских проб в 2015 году. Кроме того, установлено уменьшение содержаний Br в пробах, отобранных в период 2009–2016 гг., более, чем в 3,5 раза в сравнении с данными 1990-х годов для Северного промузла (Экология..., 1994; Язиков, 2006). Выявленные закономерности вероятно могут быть обусловлены модернизацией производства в период 2012–2015 гг. на нефтехимическом комбинате.

В северо-восточной части города (Октябрьский район) в 2007 г. и 2015 г. отчетливо прослеживаются геохимические ореолы Th и суммы РЗЭ (рисунок 4.4.5). Ореолы охватывают зону воздействия кирпичных заводов, которые применяют схожие технологии производства и находятся в 1 км друг от друга. По результатам многолетнего (2009–2015 гг.) мониторинга в

выявленном геохимическом ореоле определена динамика незначительных изменений содержаний Th и РЗЭ в нерастворимом осадке снегового покрова, проявляющаяся в виде небольших колебаний относительно постоянного уровня (таблица 4.4.7). Концентрации этих элементов превышают фон от 1,5 до 15 раз. В снеговом покрове РЗЭ и Th преимущественно находятся в твердофазной форме (>80 % от общей массы в снеге) (Филимоненко, 2015).

В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия кирпичных заводов выделяются со значимыми коэффициентами корреляции ассоциации РЗЭ с Th, указывая на их общий источник поступления. Кроме того, выявленная ассоциация Eu-Lu-Sc ( $r \approx 0,8-0,9$ ) проявляется на дендрограмме геохимических ассоциаций для территории Томска (рисунок 4.4.3). За период мониторинга (2009–2015 гг.) определены статистически значимо высокие уровни содержания Na, Rb, Sc, Yb, Tb, Sm, Hf, Lu, Cs, Eu в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия кирпичных заводов в сравнении с таковыми для проб из окрестностей ГРЭС-2. Полученные факты указывают на вклад кирпичных заводов в формирование геохимических особенностей нерастворимого осадка снега на территории города.

Накопление редкоземельных элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия кирпичных заводов вероятно могут быть обусловлены составом глин и суглинков, используемых на заводах в качестве основного сырья, а также составом промышленной пыли. Нами выявлены близкие уровни содержания макроэлементов (Na, Ca, Fe) и большей части изучаемых микроэлементов, в т.ч. Th и РЗЭ, в нерастворимом осадке снегового покрова и используемых глинах, а также промышленной пыли из основных цехов завода. По литературным данным, глины могут накапливать редкоземельные элементы (Занин и др., 2011; Савко, 2016; Юргенсон и Яковлева, 2017). Глины, как вмещающие породы циркон-ильменитовых месторождений Томской области, характеризуются повышенными концентрациями РЗЭ и Th (Циркон-ильменитовые..., 2001).

На постоянный источник лантаноидов в север-северо-восточной части города могут указывать установленные на территории Октябрьского района в 1993 г. литогеохимические аномалии щелочноземельных, щелочных и редких элементов (Геохимия почв..., 1993), в 2006 г. – Hf, Sc, Tb, Sm, La, Ce, Yb, Lu (Жорняк, Язиков, 2008; Жорняк, 2009; Язиков и др., 2010), биогеохимические аномалии Cs, Rb, La, Sm, Tb в листе тополя черного (Барановская, 2011).

Ассоциация Fe-Cr, характерная для нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия заводов по производству железобетонных конструкций и бетона (ЖБК) (рисунок 4.4.3), проявляется на дендрограмме геохимических ассоциаций для г. Томска, указывая на заводы ЖБК как на один из источников этих элементов в городской среде. В период многолетнего мониторинга (2009–2015 гг.) нерастворимый осадок снегового покрова в зоне



воздействия ЖБК также отличался статистически значимо высоким накоплением Са относительно данных для проб из окрестностей других изучаемых предприятий (таблица 4.2.8).

В 2007 г. и 2015 г. на территории города не выявлено достоверных различий по величинам  $Z_c$  (таблица 4.4.8), относящиеся к среднему уровню загрязнения с опасной экологической ситуацией по общепринятым градациям. На картах-схемах пространственная структура суммарного загрязнения в 2007 г. и 2015 г. существенно не различается (рисунок 4.4.6). Но, в районе расположения ГРЭС-2 ореол с низким уровнем загрязнения, сформированный в 2007 г., сменился в 2015 г. на ореол со средним уровнем загрязнения. В течение всего периода мониторинга (2009–2015 гг.) в зоне воздействия изучаемых ГРЭС-2, НХК и предприятий по производству стройматериалов сохранялся средний уровень загрязнения.

Таблица 4.4.8. – Уровень суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) на территории г. Томска по данным снегогеохимической съемки в 2007 г. и 2015 г.

Год	Среднее	Уровень загрязнения*	Уровень опасности**	Мин-Макс	Уровень загрязнения*	Уровень опасности**
2007	84,2	Средний	Опасный	6,6–178	Низкий– высокий	Опасный– очень опасный
2015	87,1			21,5–183		

\* – градация по (Геохимия..., 1990); \*\* – градация по (Касимов и др., 2012)

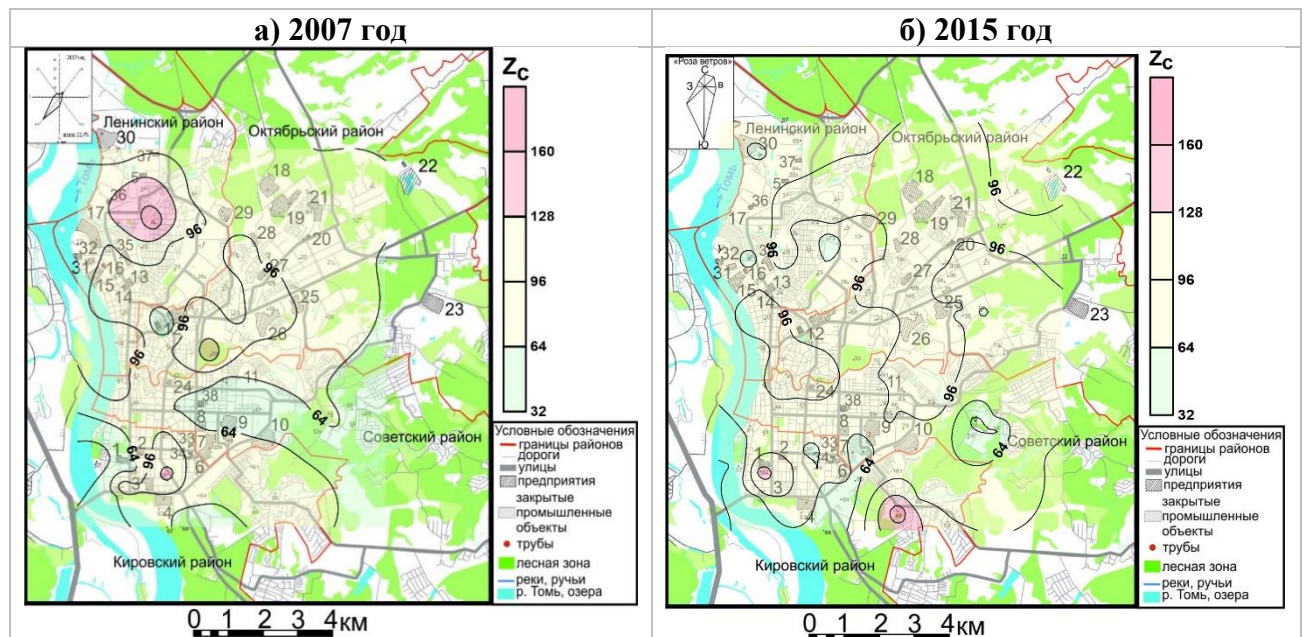


Рисунок 4.4.6. – Карты-схемы пространственного распределения суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) на территории г. Томска по результатам снегогеохимической съемки в 2007 г. (а) и 2015 г. (б) (см. рис. 4.4.2)

На территории города в 2007 г. по величине  $Z_p$  определен низкий уровень загрязнения (таблица 4.4.9). В 2015 г. выявлен тренд незначительного увеличения величины  $Z_p$ , относящейся к среднему уровню загрязнения, и обусловленный небольшим увеличением интенсивности пылевой нагрузки в некоторых районах города. В течение периода мониторинга в зоне

воздействия ГРЭС-2 формировался средний уровень загрязнения и умеренно-опасная обстановка, тогда как в зоне размещения кирпичных заводов – от среднего до высокого уровня.

Таблица 4.4.9. – Уровень суммарного показателя нагрузки ( $Z_p$ ) на территорию г. Томска по данным снегогеохимической съемки в 2007 г. и 2015 г.

Год	Среднее	Уровень загрязнения*	Уровень опасности**	Мин-Макс	Уровень загрязнения*	Уровень опасности**
2007	915	Низкий	Неопасный	90,6–4862	Низкий–средний	Низкий–очень опасный
2015	1285	Средний	Умеренно-опасный	44,8–11385	Низкий–очень высокий	Низкий–чрезвычайно опасный

\* – градация по (Геохимия..., 1990); \*\* – градация по (Касимов и др., 2012)

Проведенная оценка загрязнения по суммарным показателям для нерастворимого осадка снегового покрова с использованием рекомендаций Минздрава СССР (№4266-87) и Ю.Е. Саета и др. (Геохимия..., 1990) позволяет предположить в Томске увеличение суммарной заболеваемости населения, включая заболевания органов дыхания. Ингаляционное поступление химических элементов в составе твердых частиц в организм человека может стать причиной заболеваний органов дыхания и различных функциональных нарушений.

Так, ореолы с высокими величинами суммарных выпадений химических элементов на снеговой покров в северо-восточной части г. Томска соотносятся с районом города, где Н.С. Волкотруб (Волкотруб и др., 2012). с коллегами определен высокий уровень частоты встречаемости хронических заболеваний органов дыхания, печени и органов кровообращения. Например, выявлены высокие уровни содержания Ca, Pb, Bi, Co, Ba, Eu, Hf, W, U в трахеях, Au, Sc, Nd, Sm, Lu, Hf и других РЗЭ (Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm) – в бронхах, Sb, La, Ce, Pr – в легких, Вг – в аорте человека (Барановская, 2011; Барановская и др., 2015).

Нами установлено, что металлосодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова по своим размерам относятся к твердым частицам PM10 и PM2,5 (Talovskaya et al., 2018). Если бы эти микрочастицы находились в воздухе, то при ингаляционном поступлении могли бы оседать в верхних дыхательных путях и проникать глубоко в легкие, накапливаться в организме.

Проведенные нами исследования по оценке риска здоровью населения на основе данных элементного состава нерастворимого осадка снегового покрова на территории г. Томска выявили ингаляционный фактор воздействия некоторых тяжелых металлов (As, Cr, Co, Cd, Ni, Pb) (Янкович и др., 2011; Osipova et al., 2015; Осипова и др., 2018). Например, уровни риска ингаляционного воздействия As и Co (менее  $10^{-4}$ ) на территории города следует расценивать как низкий и не представляющий опасности для здоровья населения, а Cr (более  $10^{-4}$ ) как средний (Янкович и др., 2011). Значения индивидуального канцерогенного риска, превышающие приемлемый уровень, установлены от ингаляционного поступления Be, Cr, Co, Ni и As в зоне

воздействия кирпичных заводов; Cr, Co и As – ГРЭС-2 и заводов ЖБК; Cr и Pb – НХК (Osipova et al., 2015; Осипова и др., 2018).

Результаты биотестирования на более, чем 65 тыс. дрозофилах и инфузориях показали, что пробы нерастворимого осадка снегового покрова из зоны воздействия разнопрофильных предприятий Томска оказывают негативное биологическое воздействие на живые организмы (Таловская, 2008), что обусловлено геохимическими и минерально-вещественными особенностями состава проб (таблица 4.4.5).

Таблица 4.4.10. – Обобщенные результаты оценки биологического воздействия нерастворимого осадка снегового покрова из различных районов г. Томска по данным биотестирования

Пробы из районов г. Томска	Тест-объект		
	<i>Инфузории</i> <i>Paramecium caudatum</i>	<i>Дрозофилы</i> <i>Drosophila melanogaster</i>	
		Соотношение полов	Фенотипические изменения
кампус ТПУ	+++	++	+++
мк-н Каштак	++	–	+
мк-н Солнечный	+	+	+
мк-н Академгородок	+++	–	+
ГРЭС-2, 2005 г.	++	+	+++
Заводы ЖБК	н.о.	–	+
Кирпичные заводы	+++	–	+++
Нефтехимический комбинат	н.о.	-	++
ГРЭС-2, 2013 г.	н.о.	+	++
Инструментальный завод	+++	+	+++
Электроламповый завод	н.о.	+	++
Электромеханический завод	+++	++	++
Пригород	++	–	++
Фоновый район	+	–	+

оценка по результатам экспериментальных данных биотестирования на более, чем 65 тыс. дрозофил и инфузориях, и статистической обработки результатов детально представлена в кандидатской диссертации А.В. Таловской (2008 г.); степень воздействия: «–» – отсутствует, «+» – вероятное; «++» – слабое; «+++» – сильное; н.о. – не определялось

Результаты экспериментов по биодоступности некоторых металлов, содержащихся в нерастворимом осадке снегового покрова, могут подтверждать их накопление в организме человека за счет ингаляционного поступления в составе твердых частиц. В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 выявлена высокая биодоступность As (29%), Cd (70%), Zn (68%) в легочной жидкости, тогда как Cr (~3%) и Cu (~10%) имеют близкие биодоступные доли как в легочной, так и кишечной жидкости. Схожая закономерность в распределении биодоступных форм металлов в легочной жидкости характерна и для нерастворимого осадка снегового покрова из окрестностей угольной котельной (As (54%), Cd

(62%), Zn (51%). В нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия нефтехимического комбината определен высокий процент биодоступности Zn (50%), As (46%) и Cd (42%) для легочной жидкости, As (58%) – желудочного сока, тогда как поглощение Cr (~5%), Cu (~20%), Pb (~20%) происходит на близком уровне как в легочной, так и кишечной жидкости, что отличается от уровня биодоступности для легочной жидкости из проб в окрестностях НПЗ г. Омска (Zn (70%), Cr (33%), Cd (19%), Cu (10%)).

*Таким образом, определены пространственно-временные тренды формирования уровня пылевой нагрузки и эколого-геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова на территории города юга Западной Сибири, на примере результатов многолетнего мониторинга (2007–2015 гг.) в многопрофильном промышленном городе Томске.*

*Установлены пространственно-временные закономерности снижения пылевой нагрузки в районах города, подвергаемых воздействию крупных предприятий и автомагистральных узлов, обусловленные изменением промышленно-транспортной инфраструктуры, совершенствованием природоохранной деятельности и модернизацией производства на предприятиях. На территории города сохраняется формирование ореолов пылевой нагрузки под воздействием объектов строительной и теплоэнергетической отрасли в период мониторинга.*

*В период с 2007 г. по 2015 г. наблюдается снижение уровней накопления в нерастворимом осадке снегового покрова Hg и Br, а также увеличения – As, Sr, Na и Ca. Определённого тренда в изменении поступления U, Sc, Ce, Ta, Lu, Cr в составе аэрозолей не выявлено. За 8-летний период произошло достоверное увеличение содержания в нерастворимом осадке снегового покрова Fe, Co, La, Yb, а также среднесуточного выпадения Tb, Eu, Ba, Cs, Hf, Rb, Sm на снеговой покров.*

*Динамика геохимических ореолов ртути, лантаноидов, урана и тория в зоне воздействия ГРЭС-2 определяется балансом использования природного газа и угля. Расположение геохимических ореолов тория и лантаноидов в районе размещения кирпичных заводов не изменилось в период мониторинга, что может быть связано с составом используемого сырья и выбрасываемой пыли. Установлена динамика снижения поступления Br и Hg в зоне воздействия нефтехимического комбината, что могло отразиться в динамике геохимических особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова на территории города.*

*Выполнен комплекс исследований по оценке риска здоровью населения от ингаляционного воздействия химических элементов и по биотестированию нерастворимого осадка снегового покрова, по результатам которых показано влияние твердых частиц на здоровье населения и живые организмы.*

## 5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕГОВОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

### 5.1. Краткая характеристика предприятий теплоэнергетики

Предприятия теплоэнергетики, особенно использующие уголь, являются мощными источниками выбросов в атмосферный воздух твёрдых частиц (Ревич, 2010). В условиях резко-континентального климата, характерного для юга Западной Сибири, в зимний сезон увеличивается техногенная аэрозольная нагрузка на урбанизированные территории за счет интенсификации работы теплоэлектростанций (ТЭС), в топливном балансе которых в основном применяется уголь. В районах размещения ТЭЦ и ГРЭС формируются обширные поля выпадений твердых частиц в снеговой покров, требующие тщательного изучения.

В данной работе проведены исследования в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики, расположены на юге Западной Сибири, в городах: Кемерово, Мыски, Юрга, Северск, Томск и Омск (таблица 5.1.1). Для изучения многолетней динамики (2005 г., 2009–2018 гг.) формирования состава аэрозолей под влиянием среднеспособной ТЭС, модельным объектом выбрана ГРЭС-2 г. Томска. Для сравнительного анализа исследования также выполнялись в районе размещения ТЭЦ г. Караганда (Центральный Казахстан).

Таблица 5.1.1 – Характеристика изучаемых предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

ТЭС (город)	Тепловая мощность, Гкал/ч	Элект- рическая мощность, МВт	Высота труб, м (кол-во труб)	Основное топливо	Характеристика твердого топлива		
					Марка	Бассейн	A <sup>d</sup> , %
ГРЭС-2 (г. Томск)	815	331	100 (2)	уголь, природный газ	Д	Кузнецкий	7– 20
ТЭЦ (г. Северск)	1870	699	125 (5)	уголь	Д		
ГРЭС (г. Кемерово)	1540	458	180 (1), 210 (1)	уголь	Д и СС		
ГРЭС (г. Мыски)	194	1345	150 (2), 120 (2)	уголь	Д и Г		
ТЭЦ (г. Юрга)	91	614	58 (1), 100 (1)	уголь	Д		
ТЭЦ (г. Омск)	1763	735	180 (1), 275 (1)	уголь	СС	Экибастузский	36– 52
ТЭЦ* (г. Караганда)	1174	670	100 (1), 168 (1)	уголь	СС		

информация с интернет-сайтов ТЭС; \* – Центральный Казахстан

Маршруты отбора проб снегового покрова закладывали на расстоянии от 0,6 до 4,5 км в северном и северо-восточном направлении от ТЭС с учетом высоты дымовых труб (организованные источники выбросов) и главенствующего направления ветра.

## 5.2. Уровень пылевой нагрузки

Установлены уровни пылевой нагрузки в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири по результатам изучения снегового покрова (рисунок 5.2.1).

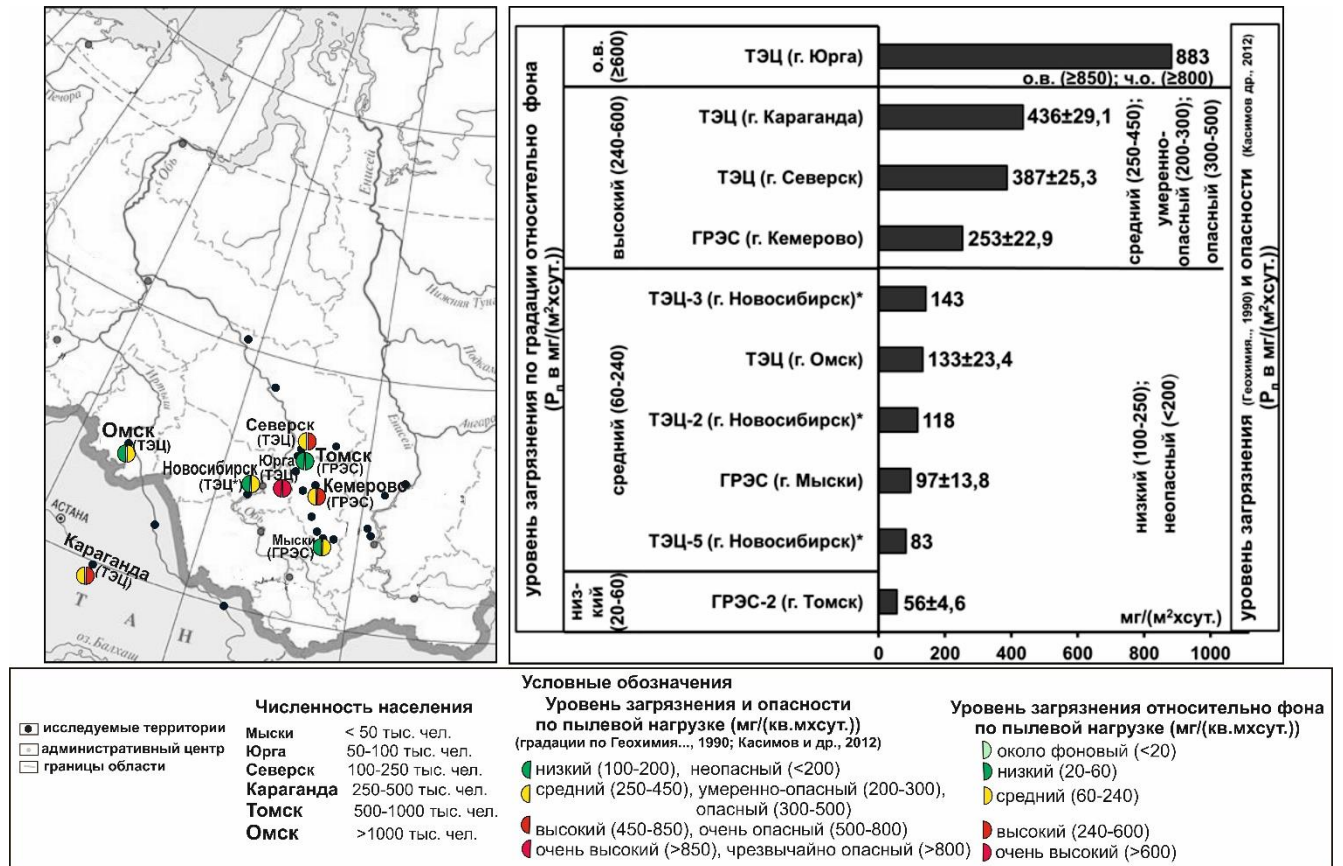


Рисунок 5.2.1. – Уровень пылевой нагрузки в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири по данным изучения снегового покрова (о.в. – очень высокий; ч.о. – чрезвычайно опасный; \* – Девятова, 2009; Бортникова и др., 2009; Караганда – Центральный Казахстан)

По средней величине пылевой нагрузки ТЭС ранжируются следующим образом (от минимального до максимального): ГРЭС-2 г. Томска (56 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) < ГРЭС г. Мыски (97) < ТЭЦ г. Омска (133) < ГРЭС г. Кемерово (253) < ТЭЦ г. Северска (387) < ТЭЦ г. Караганды (436) < ТЭЦ г. Юрги (883). Уровни пылевой нагрузки в районе размещения ТЭЦ г. Омска, где применяют высокозольные каменные угли Экибастузского бассейна, сопоставимы с уровнями пылевой нагрузки (143 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) в зоне воздействия ТЭЦ г. Новосибирска, которые используют высокозольные бурые угли Канско-Ачинского бассейна (Девятова, 2009).

По общепринятым градициям (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012) величины пылевой нагрузки соответствуют низкому уровню загрязнения в зоне воздействия ТЭС, расположенных в Томске, Омске, Мыски и Новосибирске; среднему уровню с умеренно-опасной ситуацией – ТЭС г. Северска, г. Караганда и г. Кемерово; очень высокому уровню с чрезвычайно опасной ситуацией – ТЭЦ г. Юрга (рисунок 5.2.1).

Пылевая нагрузка в районах размещения изучаемых ТЭС превышает региональный фон от 8 до 150 раз. По градации пылевой нагрузки относительно фона формируется средний уровень загрязнения в зоне воздействия ГРЭС г. Мыски, ТЭЦ г. Омска и г. Новосибирска, а высокий – ТЭС, расположенных в Кемерово, Северске и Караганде.

Выявленные различия в уровнях пылевой нагрузки в зоне воздействия изучаемых ТЭС обусловлены комплексным воздействием различных факторов. Во-первых, на уровень пылевой нагрузки *влияют виды используемого топлива* (марка и качество углей, потребление природного газа). Например, определены статистически высоко значимые (тест Краскела-Уоллиса,  $p \leq 0,00001$ ) низкие уровни пылевой нагрузки в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 по сравнению с данными для других изучаемых городских ТЭС, что связано с использованием не только угля, но и природного газа в топливном балансе, а также с меньшими мощностями, чем на других изучаемых ТЭС. Выявлены статистически значимо высокие уровни пылевой нагрузки (тест Краскела-Уоллиса,  $p \leq 0,00001$ ) в зоне воздействия ТЭС, использующие высокочольные экибастузские угли, по сравнению с данными для ТЭС, где применяются кузнецкие угли. В районе размещения ТЭЦ-3 г. Новосибирска, где сжигаются высокочольные бурые угли Канско-Ачинского бассейна, отмечалось формирование ореола с высокими уровнями пылевой нагрузки ( $137 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ) в сравнении с таковыми ( $107 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ) в ореоле воздействия ТЭЦ-2, где используются каменные угли Кузнецкого бассейна (Артамонова, 2020).

Во-вторых, важную роль в формировании пылевой нагрузки играет *эффективность и модернизация системы золоулавливания* на изучаемых ТЭС. Так, на ТЭЦ г. Юрга низкая эффективность системы пылегазоулавливания и использованием углей плохого качества (низкая калорийность, высокая зольность, влажность) снижают уровень работы оборудования, а также способствуют поступлению значительных объемов выбросов твердых веществ в атмосферный воздух (Генеральный..., 2011). В совокупности, данные факторы могут обуславливать формирование очень высокого уровня пылевой нагрузки в зоне воздействия ТЭЦ г. Юрга (рисунок 5.2.1). По данным многолетнего (2009–2018 гг.) мониторинга загрязнения снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска выявлена закономерность уменьшения пылевой нагрузки в периоды реконструкции золоулавливающих установок (Таловская и др., 2013). Во время двухлетнего (2014–2015 гг.) мониторинга в зоне воздействия ТЭЦ г. Северска прослежена динамика изменения пылевой нагрузки с высокого уровня в 2014 г. ( $574 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ) на средний уровень в 2015 г. ( $199 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ) относительно фона, что связано с модернизацией золоулавливающего оборудования на ТЭЦ, что повысило степень очистки выбросов. В то же время, регулярная реконструкция и модернизация золоулавливающих установок на ТЭЦ г. Омска (<http://www.tgk11.com>), где используются высокочольные угли, может оказывать влияние на формирование в зоне воздействия этой ТЭЦ низкого уровня пылевой нагрузки по общепринятым

градациям и средний уровень загрязнения относительно фона (рисунок 4.2.1). В зоне воздействия ТЭЦ г. Новосибирска выявлен наиболее низкий уровень пылевой нагрузки ( $67 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ), чем в районах размещения остальных ТЭЦ (ТЭЦ-2, ТЭЦ-3), что связано с использованием более современных систем золоулавливания на ТЭЦ в сравнение с другими городскими ТЭС (Артамонова, 2020).

В-третьих, в отдельных случаях дополнительным фактором формирования пылевой нагрузки в зоне воздействия ТЭС является *ветровой перенос пыли от открытых угольных складов*. Например, в точке отбора проб недалеко от открытого угольного склада ТЭЦ г. Юрга, вместимость которого до 450 тыс. тонн угля в год, выявлен очень высокий уровень пылевой нагрузки ( $>1500 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ). Так, по результатам выполненных нами исследований совместно с ОГБУ «Облкомприрода» в зоне воздействия открытого угольного склада Томской ГРЭС-2, ежегодно вмещающего более 400 тыс. тонн угля, определено, что в 100 м от этого склада, в жилом квартале, пылевая нагрузка составляла  $791 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ , что соответствовало очень высокому уровню загрязнения относительно фона. В пробах свежеснеженного снега на частицы с экологически опасными размерами  $<1$  и  $1\text{--}10 \text{ мкм}$  приходилось 30 и 20 %, соответственно.

Анализ распределения пылевой нагрузки в зоне воздействия ТЭЦ и ГРЭС, у которых высота дымовых труб составляет 100–150 м, показал уменьшение пылевой нагрузки по мере удаления от источника по северо-восточному вектору основного массопереноса загрязняющих веществ (рисунок 5.2.2). При этом наибольший уровень пылевой нагрузки ( $79\text{--}790 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ) формируется на расстоянии до 1,3 км, а в пределах 1,3–2,3 км уровень нагрузки снижается в среднем в 2 раза ( $43\text{--}268 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ).

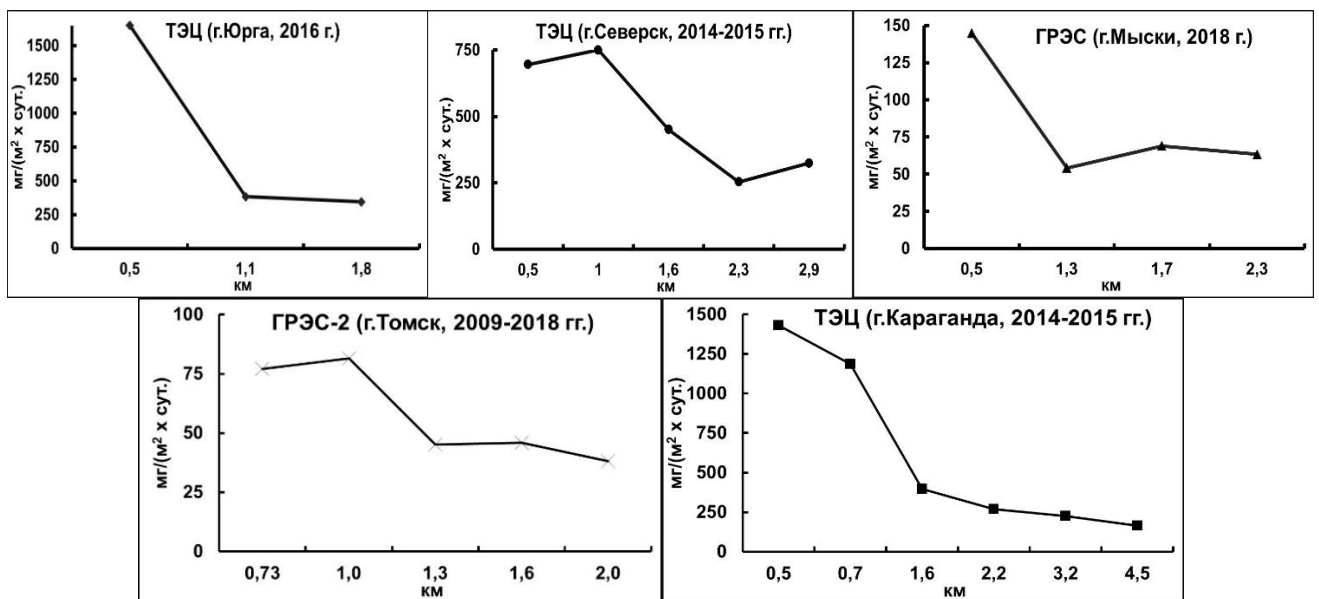


Рисунок 5.2.2. – Распределение пылевой нагрузки в северо-восточном направлении по мере удаления от предприятий теплоэнергетики по данным снеговой съёмки



Выявленная закономерность распределения пылевой нагрузки прослеживается в период многолетних (2009–2018 гг.) наблюдений на примере зоны воздействия Томской ГРЭС-2 (Таловская и др., 2013; Филимоненко, 2015). Схожая структура распространения пылевой нагрузки выявлена в зоне воздействия отдельных ТЭЦ г. Новосибирска по результатам снеговой съемки (Артамонова, 2007; 2020). На примере одной из ТЭЦ г. Москва определены максимальные концентрации взвешенных веществ, которые быстро оседают из атмосферного воздуха, в ближней зоне воздействия изучаемого источника (0,8–1,5 км) (Битюкова, 2021). В холодный период в дымовой трубе ТЭС происходят процессы вымывания эмиссий твердых частиц в виде ледяной крупы (Беляев и др., 1997). Вероятно, данный эффект определяет выявленную нами пространственную закономерность формирования повышенных уровней пылевой нагрузки в ближней зоне воздействия изучаемых предприятий теплоэнергетики.

На примере ТЭЦ г. Омска по данным наземных и спутниковых наблюдений, а также численного моделирования, выявлены выпадения аэрозолей в снеговой покров не только в северо-северо-восточном, но и в восточном секторе. Выявленные особенности распределения пылевой нагрузки в зоне воздействия ТЭЦ г. Омска обусловлены влиянием эффектов поворота ветра в пограничном слое атмосферы на высотах более 200 м, на уровне которых происходят эмиссии веществ из труб рассматриваемой ТЭЦ (Talovskaya, Raputa et al., 2015).

*Таким образом, уровень пылевой нагрузки в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири находится в диапазоне от 56 до 883 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), что соответствует уровню загрязнения от низкого до очень высокого по общепринятым градациям и относительно фона. Формирование уровня пылевой нагрузки обусловлено видами и качеством используемого топлива, эффективностью системы золоулавливания, влиянием угольного склада. По уровню пылевой нагрузки определено, что в зоне воздействия ТЭС, у которых высота организованных источников составляет 100–150 м, основная часть аэрозольных частиц осаждается в снеговой покров на расстоянии до 1,3 км.*

### **5.3. Геохимические характеристики нерастворимого осадка снегового покрова**

Определены средние уровни содержания широкого спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова (таблица 5.3.1–5.3.2) и уровни среднесуточного выпадения элементов на снеговой покров (таблица 5.3.3–5.3.4) в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири.

Установлена техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия каждой из изучаемых ТЭС, которая проявляется на большую группу химических элементов. В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия каждого предприятия теплоэнергетики выделяется свой индикаторный геохимический спектр элементов

по эколого-геохимическим показателям ( $K_c$  и  $K_p$ ) (таблица 5.3.5-5.3.7, рисунок 5.3.1), а также по результатам сравнения выборок критериями математической статистики.

Таблица 5.3.1. – Среднее содержание (мг/кг) 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

Эл-т	ГРЭС-2 (г.Томск)	ТЭЦ (г.Северск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Юрга)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ (г.Караганда)	Фон*
Na*	0,7±0,02	0,4±0,03	1,0±0,06	0,5±0,05	<b>0,7</b>	0,4±0,01	0,6±0,08	0,2
Ca*	1,6±0,1	1,5±0,1	1,8±0,1	1,8±0,1	<b>2,1</b>	1,6±0,05	2,2±0,2	0,8
Fe*	3,6±0,2	4,1±0,3	3,6±0,3	3,4±0,2	<b>5,7</b>	3,6±0,09	2,9±0,2	1,9
Hg	0,201±0,01	<b>0,371±0,02</b>	0,151±0,01	<b>0,441±0,03</b>	0,141	0,204±0,01	<b>0,436±0,07</b>	0,08
As	<b>13,3±0,8</b>	2,7±0,6	6,4±1,6	<b>10,3±1,0</b>	6,6	5,5±0,7	8,3±0,5	18,6
Zn	<b>896±128</b>	70,9±8,6	178±10,9	178±14,1	140	139±14,0	296±68,9	139
Sb	<b>4,9±0,2</b>	0,8±0,1	2,6±0,2	3,4±0,5	1,2	1,4±0,2	<b>4,6±0,7</b>	2,3
Co	17,6±0,5	15,0±0,1	18,2±1,3	<b>27,5±1,9</b>	<b>31,0</b>	11,6±0,3	19,1±2,5	10,3
Cr	<b>102±5,9</b>	48,7±2,4	59,7±4,5	55,1±3,1	<b>133</b>	43,8±3,9	<b>95,1±21,9</b>	110
Ba	970±71	943±66,9	<b>1168±86,3</b>	854±68,4	<b>1256</b>	863±27,3	569±21,0	100
Sr	442±27,4	224±28,7	579±38,1	553±46,5	<b>892</b>	309±17,6	218±21,3	100
Sc	9,6±0,3	11,1±0,5	14,9±0,9	12,9±0,9	<b>26,8</b>	<b>21,4±0,4</b>	13,1±0,4	7,1
Br	<b>3,7±0,3</b>	2,4±0,6	0,3	2,3±0,2	0,3	<b>9,6±0,6</b>	<b>14,2±1,3</b>	2,9
Rb	49,1±1,3	<b>63,1±3,6</b>	<b>104±7,5</b>	45,3±4,3	<b>130</b>	18,7±1,2	27,9±2,2	55
Cs	3,4±0,1	<b>5,3±0,3</b>	<b>7,8±0,5</b>	3,3±0,3	<b>8,0</b>	1,4±0,1	1,8±0,1	3,5
La	31,1±1,0	<b>52,7±2,6</b>	<b>46,1±2,7</b>	<b>43,0±3,2</b>	<b>46,0</b>	<b>44,7±1,0</b>	20,7±0,5	2,8
Hf	5,2±0,2	<b>7,6±0,4</b>	<b>6,7±0,4</b>	<b>7,2±0,5</b>	<b>6,5</b>	<b>7,1±0,2</b>	4,6±0,1	2,2
Au	<b>0,03±0,007</b>	0,001±0,0002	0,01±0,001	0,01±0,002	0,0005	0,006±0,001	0,007±0,001	0,2
Ce	62,9±2,1	<b>96,5±4,5</b>	85,6±4,7	84,6±6,9	<b>101</b>	77,9±1,0	47,7±1,2	10,3
Nd	24,5±0,9	<b>37,3±2,4</b>	31,8±2,7	34,5±2,6	<b>46,1</b>	31,9±1,3	20,3±0,9	14,9
Ta	0,9±0,04	<b>1,8±0,1</b>	1,1±0,1	1,1±0,1	0,9	0,9±0,1	0,5±0,04	0,2
Sm	4,9±0,1	7,4±0,3	7,3±0,3	6,4±0,4	<b>9,3</b>	<b>8,0±0,2</b>	4,8±0,1	0,6
Eu	1,1±0,04	1,4±0,1	1,6±0,1	1,3±0,1	<b>2,4</b>	<b>2,1±0,1</b>	1,2±0,02	1,1
Tb	0,7±0,03	<b>1,3±0,1</b>	0,9±0,1	1,1±0,1	<b>1,5</b>	1,2±0,1	0,8±0,04	0,06
Yb	2,5±0,1	3,8±0,2	3,8±0,2	3,4±0,2	<b>4,6</b>	<b>4,9±0,1</b>	2,8±0,07	0,2
Lu	0,3±0,01	0,5±0,02	0,5±0,03	0,5±0,03	<b>0,7</b>	<b>0,7±0,01</b>	0,4±0,01	0,2
Th	7,8±0,2	<b>15,6±0,8</b>	<b>14,3±0,9</b>	11,9±0,9	<b>15,4</b>	8,5±0,2	4,6±0,2	2,9
U	3,9±0,1	<b>6,9±0,4</b>	<b>4,8±0,4</b>	<b>5,1±0,4</b>	<b>8,7</b>	3,2±0,1	1,9±0,1	0,2
Th/U	2,0	2,2	3,0	2,3	1,8	2,7	2,4	14,5
(La+Ce)/ (Yb+Lu)	33,6	34,2	30,6	32,6	27,6	21,7	21,3	32,7
n	69	14	9	20	3	16	18	-

метод ИНАА, Hg – ААСП; \* – в %, фон – Шатилов, 2001; Языков, 2006; фон для Hg, As, Zn, Nd – данные автора (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН), n – количество проб; жирный шрифт – содержание выше, чем в пробах из других районов исследования; Караганда – Центральный Казахстан

В зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска в нерастворимом осадке снегового покрова относительно фона интенсивно концентрируются U ( $K_c = 15,9-21,4$ ), Zn, Ba, La, Tb, Yb, Sm (10–15), а также Sr, Zn, Ce, Ta, Hf и Na (3–9), менее активно – As, Sb, Co, Nd, Lu, Br, Ca, Fe (1,5–3) (таблица 5.3.5). В результате изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова ИСП-МС определены в сравнении с фоном высокие концентрации Zn ( $K_c=16,3$ ), W (9,2), Bi, Ba, Ni, Cu

(4–4,5), Hg, V, Be, Co, Ge, Sc, Sr, Ti (3–3,5), тогда как содержание большого спектра редкоземельных элементов, макроэлементов (Na, Ca, Fe, P, Al, K, Mg, Mn), Cd, Cr, Br, U и Th превышает локальный фон в 2–2,5 раза (рисунок 5.3.1). Наибольшие уровни среднесуточного выпадения элементов на снеговой покров относительно регионального фона характерны для U ( $K_p=167$ ), а также Ba, La, Ta, Tb, Yb, Sm (75–115) (таблица 5.3.6–5.3.7).

Нерастворимый осадок снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Северска, входящей в структуру предприятия ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) – Сибирского химического комбината (СХК), отличается интенсивным концентрированием U ( $K_c=35$ ), Ba, Sm, Tb, Yb, La, Ce, Ta (9–21), а также Th (5,4), Hg (4,6), менее активным – Lu, Nd, Hf, Cs, Sc, Sr, Co, Fe, Ca, Na (1,5–3,5) (таблица 5.3.5). Максимальный  $K_p$  имеет U, а очень высокие уровни  $K_p$  характерны для Ba, Sm, Tb, Yb, La, Ce, Ta, Lu и Th (таблица 5.3.6). На формирование геохимической специализации нерастворимого осадка снегового покрова оказывают влияние как выбросы ТЭЦ, так и возможно выбросы заводов предприятия СХК. В ранее проведённых работах U, Lu, Zn, Cs были определены как типоморфные элементы для нерастворимого осадка снегового покрова из зоны совместного воздействия предприятия ЯТЦ и его ТЭЦ (Шатилов, 2001; Языков, 2006).

В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС г. Кемерово к химическим элементам с высоким уровнем содержания относительно фона относятся U ( $K_c=24$ ), Ba, Sm, Tb, Yb, La (11–18), Th, Na, Ta, Ce, Sr (5–8,5) (таблица 5.3.5). Содержание макроэлементов (K, Si, Al, Fe, Ti, Mn, Mg, Ca), тяжелых металлов (Sb, Co, Ni, Hg, Zn), большого спектра редких элементов в нерастворимом осадке снегового покрова превышает фон в 1,5–4 раза по значениям  $K_c$  (рисунок 5.3.1). Высокое среднесуточное выпадение на снеговой покров относительно фона характерно для U ( $K_p=858$ ), La, Tb, Yb, Ba, Ce, Sr (200–670), выпадения большинства изучаемых элементов превышают фон от 50 до 200 раз по значениям  $K_p$  (таблица 5.3.6–5.3.7).

Для нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС г. Мыски характерны высокие концентрации относительно фона U ( $K_c=25,6$ ), Tb, Yb, La (15,4–17,2), а также повышенные концентрации Hg, Ba, Sr, Ce, Ta, Sm, Th (4,1–11,3), Sb, Co, Ni, V, макроэлементов (Na, Ca, Fe, Mg, Al, Si, P, Ti, Mn), спектра других изучаемых редких элементов (1,5–3,5) (таблица 5.3.5, рисунок 5.3.1). Среднесуточное выпадение U на снеговой покров превышает фон в 350 раз, Yb, Tb, Sm, Ta, Ce, Ba – от 118 до 260 раз, остальных элементов – 22 до 90 раз по уровням  $K_p$  (таблица 5.3.6–5.3.7).

Нерастворимый осадок снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Юрга характеризуется очень высокими концентрациями относительно регионального фона U ( $K_c=43$ ), высокими – La, Tb, Yb (16–25), повышенными – Ba, Ce, Sm (8–16), Na, Sr, Ta, Th (4,5–9), Ca, Fe, Hg, Co, Sc, Rb, Cs, Nd, Eu, Hf (1,5–3,5) (таблица 5.3.5).

Таблица 5.3.2. – Среднее содержание (мг/кг) 59 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

Эл-т	ГРЭС-2 (г.Томск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ (г.Караганда)	Фон	Эл-т	ГРЭС-2 (г.Томск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ (г.Караганда)	Фон
<b>Li</b>	33,7±3,4	<b>55,8±3,5</b>	26,2±4,8	25,7±1,1	21,9±1,4	13,0	<b>As</b>	<b>26,3±5,8</b>	н.п.о.	13,8±1,7	5,3±0,9	11,6±0,6	8,6
<b>Be</b>	<b>5,1±1,6</b>	2,6±0,4	1,8±0,2	2,3±0,1	1,5±0,1	1,2	<b>Se</b>	<b>17,4±4,1</b>	2,5±0,5	3,9±1,3	4,8±0,8	4,4±0,8	5,8
<b>Na*</b>	0,8±0,06	0,9±0,1	0,4±0,1	0,4±0,02	0,7±0,1	0,4	<b>Rb</b>	<b>55,7±4,8</b>	<b>107±7,6</b>	30,8±4,1	16,7±0,6	22,3±2,2	28,2
<b>Mg*</b>	0,6±0,05	0,9±0,1	0,7±0,1	0,5±0,04	0,6±0,1	0,3	<b>Sr</b>	449±47	<b>639±44,3</b>	<b>516±63,4</b>	339±16,6	276±19,8	126
<b>Al*</b>	5,9±0,5	8,8±0,6	7,1±0,7	<b>14,6±0,5</b>	7,4±0,3	2,4	<b>Y</b>	22,7±2,3	29,7±2,3	25,3±2,8	<b>37,9±1,9</b>	21,6±0,8	10,2
<b>Si*</b>	н.д.	<b>24,7±1,7</b>	15,6±1,7	<b>26,6±0,8</b>	18,4±0,6	9,7	<b>Zr</b>	156±13,7	215±16,1	225±26,4	<b>271±9,2</b>	169±6,5	74,5
<b>P*</b>	0,13±0,01	0,08±0,004	<b>0,2±0,02</b>	<b>0,2±0,01</b>	0,11±0,005	0,1	<b>Nb</b>	14,4±1,3	13,9±1,1	16,8±1,7	12,8±0,5	16,6±9,3	7,1
<b>K*</b>	1,3±0,1	<b>2,2±0,2</b>	0,6±0,1	0,4±0,02	0,6±0,1	0,6	<b>Mo</b>	<b>4,4±0,4</b>	2,4±0,2	2,9±0,3	2,6±0,2	<b>3,7±0,6</b>	1,5
<b>Sc</b>	н.п.о.	н.п.о.	<b>19,9±3,4</b>	<b>15,6±4,4</b>	9,5±1,5	5,0	<b>Ag</b>	0,7±0,08	0,4±0,05	0,4±0,1	0,7±0,4	0,4±0,1	1,9
<b>Ti*</b>	0,5±0,09	0,5±0,03	0,3±0,04	<b>0,7±0,02</b>	0,2±0,1	0,2	<b>Cd</b>	<b>1,3±0,18</b>	0,6±0,05	0,8±0,1	0,4±0,04	0,8±0,1	0,6
<b>V</b>	66,4±8,3	29,1±10	60,7±5,1	101±3,6	<b>2393±673</b>	20,2	<b>In</b>	0,1±0,01	0,03±0,005	0,09±0,01	0,06±0,1	0,07±0,01	0,1
<b>Cr</b>	<b>76,4±12,8</b>	50,9	38,6±3,7	33,3±3,9	44,5±6,2	46,7	<b>Sn</b>	<b>9,7±1,6</b>	4,1±0,6	3,6±0,4	2,8±0,2	3,2±0,3	19,4
<b>Mn</b>	513±36,5	513±29,6	412±43,5	<b>657±34,5</b>	<b>553±61,4</b>	236	<b>Sb</b>	<b>6,3±0,8</b>	2,7±0,2	4,8±1,3	3,7±1,6	<b>5,1±0,7</b>	4,2
<b>Fe*</b>	<b>3,5±0,25</b>	<b>3,5±0,2</b>	2,4±0,2	<b>3,6±0,2</b>	2,7±0,3	1,5	<b>Cs</b>	3,5±0,3	<b>7,7±0,6</b>	2,4±0,3	1,5±0,1	1,7±0,1	1,8
<b>Co</b>	<b>19,8±2,2</b>	<b>17,4±1,5</b>	<b>18,2±2,1</b>	10,8±0,5	15,6±2,3	6,2	<b>Ba</b>	<b>1154±130</b>	<b>1093±75,6</b>	786±79,6	<b>935±42,4</b>	639±23,6	305
<b>Ni</b>	<b>33,8±7,6</b>	<b>27,8±4,7</b>	<b>25,8±3,3</b>	5,6±3,5	18,3±6,6	9,5	<b>La</b>	34,5±3,8	40,4±2,7	37,5±3,9	41,1±2,3	21,1±0,8	15,3
<b>Cu</b>	<b>370±120</b>	75,5±8,8	52,8±6,0	64,8±3,4	96,9±10,1	92,2	<b>Ce</b>	72,7±7,4	<b>81,8±5,4</b>	72,3±7,4	74,7±3,5	45,5±2,0	30,7
<b>Zn</b>	<b>1953±536</b>	171±7,2	137±17,1	157±25,4	172±16,2	133	<b>Pr</b>	7,3±0,8	<b>9,3±0,6</b>	7,9±0,8	<b>8,8±0,5</b>	5,7±0,2	3,3
<b>Ga</b>	21,4±2,3	20,8±2,0	16,5±2,0	23,7±0,9	19,5±1,1	9,2	<b>Nd</b>	27,0±3,3	<b>37,2±2,7</b>	29,6±3,1	<b>34,8±2,1</b>	22±0,8	12,9
<b>Ge</b>	2,0±0,2	1,8±0,2	2,1±0,2	1,3±0,1	1,7±0,1	0,7	<b>Sm</b>	5,0±0,6	6,5±0,4	5,4±0,5	<b>7,9±0,5</b>	4,7±0,2	2,5

метод ИСП-МС, для Hg – ААСП; \* – в %, фон – данные автора (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН), n – количество проб; жирный шрифт – содержание выше, чем в пробах из других районов исследования: н.д. – нет данных; н.п.о. – ниже предела обнаружения; Караганда – Центральный Казахстан

Таблица 5.3.2. (Окончание)

Эл-т	ГРЭС-2 (г.Томск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ (г.Караганда)	Фон
<b>Eu</b>	1,0±0,1	1,4±0,1	1,1±0,1	<b>1,9±0,1</b>	1,2±0,1	0,5
<b>Gd</b>	5,4±0,6	<b>6,9±0,5</b>	5,5±0,6	<b>8,5±0,5</b>	5,1±0,2	2,5
<b>Tb</b>	0,7±0,1	<b>0,9±0,1</b>	0,7±0,1	<b>1,3±0,1</b>	0,8±0,04	0,4
<b>Dy</b>	4,0±0,4	<b>5,7±0,4</b>	4,5±0,5	<b>7,2±0,4</b>	4,1±0,1	2,0
<b>Ho</b>	0,7±0,08	1,0±0,1	0,9±0,1	<b>1,5±0,1</b>	0,8±0,03	0,4
<b>Er</b>	2,1±0,2	<b>3,2±0,2</b>	2,6±0,3	<b>4,3±0,3</b>	2,4±0,1	1,1
<b>Tm</b>	0,3±0,03	0,5±0,04	0,4±0,04	<b>0,6±0,03</b>	0,4±0,02	0,2
<b>Yb</b>	2,1±0,2	<b>3,1±0,3</b>	2,4±0,3	<b>4,1±0,2</b>	2,4±0,1	1,0
<b>Lu</b>	0,3±0,03	0,5±0,03	0,4±0,04	<b>0,6±0,04</b>	0,4±0,02	0,2
<b>Hf</b>	3,2±0,4	<b>5,6±0,4</b>	4,9±0,5	<b>6,2±0,3</b>	3,6±0,2	1,5
<b>Ta</b>	0,9±0,1	<b>1,1±0,1</b>	0,8±0,1	0,9±0,1	0,6±0,04	0,5
<b>W</b>	<b>21,1±2,3</b>	2,3±0,5	2,8±0,9	2,4±0,3	1,8±0,2	2,5
<b>Hg</b>	0,216±0,01	0,164±0,01	<b>0,439±0,04</b>	0,197±0,01	<b>0,751±0,2</b>	0,08
<b>Tl</b>	0,5±0,1	<b>0,8±0,1</b>	0,5±0,1	0,2±0,01	0,2±0,01	0,2
<b>Pb</b>	<b>96,8±11,2</b>	42,3±3,3	34,5±3,3	39,9±3,8	45,4±4,0	87,6
<b>Bi</b>	<b>2,5±1,3</b>	0,6±0,1	0,5±0,04	0,3±0,02	0,6±0,1	0,7
<b>Th</b>	8,0±1,0	<b>12,3±0,7</b>	9,8±1,0	8,1±0,5	5,1±0,3	3,9
<b>U</b>	2,9±0,3	<b>4,2±0,3</b>	<b>3,7±0,4</b>	2,8±0,1	1,9±0,2	1,4
<b>n</b>	6	6	11	15	11	4

Максимальные уровни среднесуточного выпадения элементов относительно фона характерны для U, очень высокие – для Tb, Yb, La, Sm, Lu, Ta, Ba, Sr, для остальных элементов в рамках изучаемого спектра значения  $K_p$  изменяются от 60 до 480 ед. (таблица 5.3.6).

Выявлены высокие уровни  $K_c$  для La, Sm, Tb, Yb, U (14–25), а также повышенные – для Ba, Al, Si, Mn, Ti, V, Hg, Sc, редких элементов в рамках изучаемого спектра (2,5–8) в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Омска (рисунок 5.1.1; таблица 5.3.5). Выявлены высокие уровни среднесуточного выпадения Ba, La, Ce, Ta, Sm, Tb, Yb, Lu, U, Al, V на снеговой покров ( $K_p=130–540$ ), а для изучаемого спектра редких элементов, Zn, Hg, Co, Si, P уровни  $K_p$  находятся в диапазоне от 20 до 110 ед. (таблица 5.3.6–5.3.7).

Нерастворимый осадок снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Караганда отличается интенсивным концентрированием V ( $K_c=118$ ), Hg, Ba, U, Tb, Yb, Ce, Sm, La, Br (5–15) относительно фона (рисунок 5.3.1; таблица 5.3.5). Максимальные уровни  $K_p$  характерны для V ( $K_p>21000$ ), очень высокие – для U, Tb, Yb (550–1050), Hg, Ba, Co, Mo, La, Ce, Ta, Sm, Eu (300–550) (таблица 5.3.6–5.3.7).

Техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия некоторых ТЭЦ, расположенных в г. Новосибирске и использующих в основном бурые угли Канско-Ачинского бассейна, определяется наиболее высокими уровнями содержания Br, Ge и некоторых тяжёлых металлов (Sb, Sn, Cd, Se, Mo, Sr) относительно фона ( $K_c=10–40$ ) (Девятова, 2009; Бортникова и др., 2012). По результатам снеговой съёмки также формируются

геохимические ореолы загрязнения ураном и торием в районах размещения ТЭЦ г. Новосибирск (Попов, 2009; Артамонова, 2020). В зоне воздействия *Ново-Иркутской ТЭЦ г. Иркутска*, где применяются бурые угли Иркутского бассейна, элементами загрязнителями в составе нерастворимого осадка снегового покрова определены макроэлементы (Si, Fe, Mg, Mn), В, Ge, Dy, Gd, Eu, Yb (Филимонова, 2017).

Таблица 5.3.3. – Средний уровень среднесуточного выпадения 28 химических элементов на снеговой покров в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

Эл-т	г/(км <sup>2</sup> ·сут.)							Фон, мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)**
	ГРЭС-2 (г.Томск)	ТЭЦ (г.Северск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Юрга)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ (г.Караганда)	
Na*	0,38	1,73	2,59	0,42	7,05	0,59	2,27	10,5
Ca*	0,86	6,70	4,52	1,67	21,79	2,47	9,06	57
Fe*	0,21	16,89	9,11	3,02	62,33	5,68	12,70	130
Hg	0,01	0,14	0,04	0,05	0,14	0,03	0,32	1,2
As	0,70	1,36	1,66	0,96	7,33	0,88	4,26	117
Zn	45,09	28,96	44,68	15,54	144,56	20,65	138,11	879
Sb	0,27	0,31	0,64	0,28	1,16	0,21	2,71	16,1
Co	0,96	6,15	4,51	2,73	31,68	1,83	9,00	72,1
Cr	5,75	19,07	14,91	4,91	137,40	6,02	48,83	770
Ba	53,34	408,06	291,15	83,34	1289,3	138,59	281,79	700
Sr	23,29	94,50	148,23	51,14	893,97	48,46	77,92	700
Sc	0,53	4,49	3,75	1,23	27,69	3,34	6,09	49,7
Br	0,23	1,41	0,08	0,22	0,32	1,50	8,78	20,3
Rb	2,72	27,40	26,39	4,13	137,40	2,94	11,56	385
Cs	0,18	2,25	1,98	0,30	8,49	0,21	0,83	24,5
La	1,71	21,83	11,60	4,17	47,90	6,67	10,36	19,6
Hf	0,29	3,13	1,69	0,68	6,92	1,13	2,30	15,4
Au	0,0018	0,0003	0,0023	0,0012	0,0005	0,0009	0,0027	1,5
Ce	3,44	40,09	21,62	8,53	106,05	12,15	23,86	72,1
Nd	1,38	15,28	7,92	3,53	52,72	5,19	10,03	88,7
Ta	0,05	0,77	0,28	0,11	0,88	0,14	0,25	0,7
Sm	0,27	3,02	1,82	0,62	9,70	1,24	2,40	4,0
Eu	0,06	0,56	0,40	0,12	2,22	0,33	0,57	7,7
Tb	0,04	0,53	0,22	0,10	1,57	0,18	0,41	0,4
Yb	0,14	1,56	0,95	0,33	4,73	0,77	1,41	1,4
Lu	0,02	0,22	0,13	0,05	0,76	0,11	0,21	0,5
Th	0,43	6,54	3,58	1,15	16,27	1,34	2,32	20,3
U	0,21	2,83	1,20	0,49	8,84	0,48	0,93	1,4
n	69	14	9	20	3	16	18,0	-

Примечание: метод ИНАА, Hg – ААСП; \* – в районах исследования в кг/(км<sup>2</sup>·сут.), а в фоновом районе в г/(км<sup>2</sup>·сут.), фон\*\* – Шатилов, 2001; Язиков, 2006; фон для Hg, As, Zn, Nd – данные автора (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН), n – количество проб; Караганда – Центральный Казахстан

Таблица 5.3.4. – Средний уровень среднесуточного выпадения 59 химических элементов на снеговой покров в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

Эл-т	г/(км <sup>2</sup> ·сут.)					Фон, мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)	Эл-т	г/(км <sup>2</sup> ·сут.)					Фон, мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)	Эл-т	г/(км <sup>2</sup> ·сут.)					Фон, мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)
	ГРЭС-2 (г.Томск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ-3 (г.Караганда)			ГРЭС-2 (г.Томск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ-3 (г.Караганда)			ГРЭС-2 (г.Томск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Омск)	ТЭЦ-3 (г.Караганда)	
<b>Li</b>	1,83	14,53	2,68	3,56	15,73	13,0	<b>As</b>	1,43	н.п.о.	1,40	0,69	7,69	8,6	<b>Eu</b>	0,06	0,35	0,11	0,27	0,88	0,5
<b>Be</b>	0,28	0,68	0,15	0,32	1,11	1,2	<b>Se</b>	0,95	0,61	0,41	0,61	2,61	5,8	<b>Gd</b>	0,29	1,80	0,53	1,22	3,59	2,5
<b>Na*</b>	0,42	2,57	0,36	0,52	5,11	0,4	<b>Rb</b>	3,03	27,97	2,76	2,25	16,32	28,2	<b>Tb</b>	0,04	0,26	0,07	0,18	0,54	0,4
<b>Mg*</b>	0,34	2,55	0,67	0,62	5,02	0,3	<b>Sr</b>	24,45	167,10	52,17	48,25	204,22	126	<b>Dy</b>	0,22	1,49	0,44	1,02	2,90	2,0
<b>Al*</b>	3,25	23,18	6,71	20,55	52,99	2,4	<b>Y</b>	1,23	7,78	2,48	5,39	15,24	10,2	<b>Ho</b>	0,04	0,27	0,09	0,21	0,58	0,4
<b>Si*</b>	н.д.	64,67	14,35	37,05	129,4	9,7	<b>Zr</b>	8,48	56,37	21,49	37,66	115,14	74,5	<b>Er</b>	0,12	0,83	0,26	0,61	1,69	1,1
<b>P*</b>	0,07	0,21	0,16	0,28	0,84	0,1	<b>Nb</b>	0,78	3,64	1,52	1,77	6,31	7,1	<b>Tm</b>	0,02	0,12	0,04	0,09	0,26	0,2
<b>K*</b>	0,73	5,68	0,57	0,56	4,80	0,6	<b>Mo</b>	0,24	0,62	0,27	0,36	3,24	1,5	<b>Yb</b>	0,11	0,82	0,24	0,59	1,72	1,0
<b>Sc</b>	н.п.о.	н.п.о.	2,39	2,75	5,60	5,0	<b>Ag</b>	0,04	0,11	0,03	0,06	0,25	2,0	<b>Lu</b>	0,02	0,12	0,04	0,09	0,26	0,2
<b>Ti*</b>	0,27	1,26	0,32	0,95	0,79	0,2	<b>Cd</b>	0,07	0,15	0,07	0,06	0,64	0,6	<b>Hf</b>	0,17	1,46	0,47	0,87	2,45	1,5
<b>V</b>	3,61	7,59	5,94	14,11	2346,5	20,2	<b>In</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,1	<b>Ta</b>	0,05	0,29	0,07	0,13	0,43	0,5
<b>Cr</b>	4,16	13,16	3,39	3,94	31,00	46,7	<b>Sn</b>	0,53	1,09	0,32	0,37	1,97	19,4	<b>W</b>	1,15	0,58	0,26	0,29	1,33	2,5
<b>Mn</b>	27,92	133,74	36,83	94,26	405,38	236	<b>Sb</b>	0,34	0,70	0,35	0,39	3,64	4,2	<b>Hg</b>	0,01	0,04	0,05	0,03	0,84	0,08
<b>Fe*</b>	1,89	9,05	2,08	5,21	20,0	1,5	<b>Cs</b>	0,19	2,02	0,23	0,21	1,24	1,8	<b>Tl</b>	0,03	0,20	0,05	0,02	0,15	0,2
<b>Co</b>	1,08	4,57	1,82	1,46	10,87	6,2	<b>Ba</b>	62,80	285,99	77,56	132,35	460,92	305	<b>Pb</b>	5,27	10,72	2,87	4,99	33,03	87,6
<b>Ni</b>	1,84	7,25	2,53	0,54	12,16	9,5	<b>La</b>	1,88	10,52	3,59	5,59	14,88	15,3	<b>Bi</b>	0,14	0,15	0,05	0,04	0,38	0,7
<b>Cu</b>	20,16	19,49	4,27	8,57	72,74	92,2	<b>Ce</b>	3,95	21,34	6,93	10,45	32,31	30,7	<b>Th</b>	0,43	3,22	0,94	1,16	3,39	3,9
<b>Zn</b>	106,23	44,09	11,17	19,45	123,05	133	<b>Pr</b>	0,40	2,43	0,75	1,25	4,04	3,3	<b>U</b>	0,16	1,09	0,35	0,40	1,48	1,4
<b>Ga</b>	1,16	5,48	1,60	3,35	13,67	9,2	<b>Nd</b>	1,47	9,75	2,87	4,97	15,59	12,9	<b>n</b>	6	6,0	11	15	11	4
<b>Ge</b>	0,11	0,47	0,23	0,18	1,13	0,7	<b>Sm</b>	0,27	1,70	0,52	1,13	3,38	2,5							

метод ИСП-МС, для Hg – ААСП; \* – в районах исследования в кг/(км<sup>2</sup>·сут.), а в фоновом районе в г/(км<sup>2</sup>·сут.), фон – данные автора (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН), n – количество проб; н.д. – нет данных; н.п.о. – ниже предела обнаружения; Караганда – Центральный Казахстан

Таблица 5.3.5. – Коэффициенты концентрации 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

Эл-т	ГРЭС-2 (г.Томск)	ТЭЦ (г.Северск)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Юрга)	ТЭЦ-5 (г.Омск)	ТЭЦ (г.Караганда)
Na	4,6	2,1	6,8	3,1	4,5	2,4	3,2
Ca	1,9	1,8	2,2	2,2	2,6	1,9	2,7
Fe	2,0	2,2	1,9	1,8	3,0	2,0	1,5
Hg	2,7	<b>4,6</b>	1,9	<b>5,5</b>	1,8	2,6	<b>5,4</b>
As	1,0	0,2	0,3	0,6	0,4	0,3	0,4
Zn	<b>6,6</b>	0,5	1,3	1,3	1,0	1,0	<b>2,1</b>
Sb	<b>2,2</b>	0,3	1,1	1,5	0,5	0,6	<b>2,0</b>
Co	1,7	1,5	1,8	<b>2,7</b>	<b>3,0</b>	1,1	1,9
Cr	0,9	0,4	0,5	0,5	<b>1,2</b>	0,4	0,9
Ba	9,3	9,4	<b>11,7</b>	8,5	<b>12,6</b>	8,6	5,7
Sr	4,3	2,2	<b>5,8</b>	<b>5,5</b>	<b>8,9</b>	3,1	2,2
Sc	1,4	1,6	<b>2,1</b>	1,8	<b>3,7</b>	<b>3,0</b>	1,8
Br	<b>1,4</b>	0,8	0,1	0,8	0,1	<b>3,3</b>	<b>4,9</b>
Rb	0,9	1,1	<b>1,9</b>	0,8	<b>2,4</b>	0,3	0,5
Cs	1,0	1,5	<b>2,2</b>	1,0	<b>2,3</b>	0,4	0,5
La	<b>11,4</b>	<b>18,8</b>	<b>16,4</b>	<b>15,4</b>	<b>16,4</b>	<b>16,0</b>	<b>7,4</b>
Hf	<b>2,4</b>	<b>3,5</b>	<b>3,1</b>	<b>3,3</b>	<b>3,0</b>	<b>3,2</b>	<b>2,1</b>
Au	0,2	0,0	0,044	0,1	0,002	0,0	0,0
Ce	<b>6,3</b>	<b>9,4</b>	<b>8,3</b>	<b>8,2</b>	<b>9,8</b>	<b>7,6</b>	<b>4,6</b>
Nd	<b>1,7</b>	<b>2,5</b>	<b>2,1</b>	<b>2,3</b>	<b>3,1</b>	<b>2,1</b>	<b>1,4</b>
Ta	<b>4,6</b>	<b>8,9</b>	<b>5,5</b>	<b>5,3</b>	<b>4,7</b>	<b>4,7</b>	<b>2,5</b>
Sm	<b>8,7</b>	<b>13,0</b>	<b>12,8</b>	<b>11,3</b>	<b>16,3</b>	<b>14,1</b>	<b>8,4</b>
Eu	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,1</b>
Tb	<b>12,4</b>	<b>21,2</b>	<b>14,6</b>	<b>18,1</b>	<b>25,2</b>	<b>19,4</b>	<b>13,0</b>
Yb	<b>13,0</b>	<b>19,1</b>	<b>18,9</b>	<b>17,2</b>	<b>23,2</b>	<b>24,8</b>	<b>14,2</b>
Lu	<b>2,3</b>	<b>2,7</b>	<b>3,5</b>	<b>3,1</b>	<b>5,0</b>	<b>4,6</b>	<b>2,1</b>
Th	<b>2,8</b>	<b>5,4</b>	<b>4,9</b>	<b>4,1</b>	<b>5,3</b>	<b>2,9</b>	<b>1,6</b>
U	<b>19,4</b>	<b>35,0</b>	<b>24,0</b>	<b>25,6</b>	<b>43,4</b>	<b>16,0</b>	<b>9,5</b>
Z <sub>c</sub>	102	170	132	127	124	124	77

метод ИНАА, Hg\* – метод ААСП; Караганда – Центральный Казахстан; Z<sub>c</sub> – суммарный показатель загрязнения; жирный шрифт – высокие значения коэффициентов концентрации

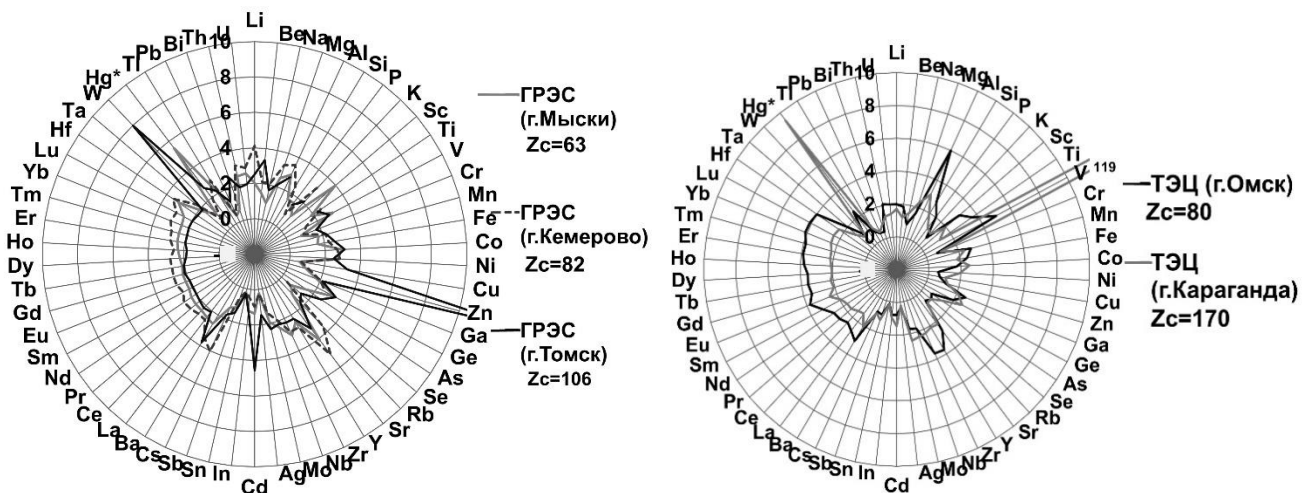


Рисунок 5.3.1. – Коэффициенты концентрации 59 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири (метод ИСП-МС, Hg\* – метод ААСП)



Таблица 5.3.6. – Коэффициенты превышения выпадений 28 химических элементов над фоном ( $K_p$ ) в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

Город	Предприятие теплоэнергетики	Ряды химических элементов по $K_p$							$Z_p$
		450–900	250–450	100–250	50–100	25–50	5–25	<5	
Омск	ТЭЦ (каменные угли Экибастузского бассейна)	Tb, Yb	La, Sm, U	Ba, Ce, Ta, Lu	Na, Sr, Sc, Br, Hf, Nd, Th	Ca, Fe, Hg, Co, Eu	As, Zn, Sb, Cr, Rb, Cs	Au	3154
Томск	ГРЭС-2 (каменные угли Кузнецкого бассейна и природный газ)	–	–	Tb, Yb, U	Na, Ba, La, Ce, Ta, Sm	Zn, Sr, Lu	Ca, Hg, As, Sb, Co, Cr, Sc, Rb, Cs, Hf, Nd, Eu, Th	Fe, Au	1100
Юрга	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Ba, La, Sm, Tb, Yb, U	Sr, Ce, Ta, Lu	Na, Ca, Fe, Co, Sc, Hf, Nd, Tb	Cr, Rb, Cs, Eu	Hg, Zn, As	Br	Au	31791
Северск	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Ba, La, Ce, Ta, Sm, Tb, Yb, Lu, U	Th	Na, Ca, Fe, Hg, Sr, Hf, Nd	Co, Sc, Br, Rb, Cs, Eu	Zn	As, Sb, Cr	Au	10929
Кемерово	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	U, La, Sm, Tb, Yb, U	Na, Ba, Ce, Ta, Lu	Sr, Hf, Th	Ca, Fe, Zn, Co, Sc, Rb, Cs, Nd, Eu	Hg, Sb	As, Cr	Br, Au	5458
Мыски	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	–	Tb, U	Ba, La, Ce, Ta, Sm, Yb	Sr, Lu, Th	Na, Ca, Hg, Co, Hf, Nd	Fe, As, Zn, Sb, Cr, Sc, Br, Rb, Cs, Eu	Au	2181
Караганда	ТЭЦ (каменные угли Экибастуз. бассейна и мазут)	La, Yb, U	Ba, Ce, Ta, Sm, Tb	Na, Sr, Lu, Th	Ca, Fe, Sc, Hf, Nd	Hg, Zn, Sb, Co, Rb, Cs, Eu	As, Cr	Br, Au	7768

метод ИНАА, Hg\* – метод ААСП;  $Z_p$  – суммарный показатель нагрузки; Караганда – Центральный Казахстан

Таблица 5.3.7. – Коэффициенты превышения выпадений 59 химических элементов над фоном ( $K_p$ ) в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири

Город	Предприятие теплоэнергетики	Ряды химических элементов по $K_p$						$Z_p$
		200–450	100–200	50–100	25–50	5–25	<5	
Омск	ТЭЦ(каменные угли Экибастуз. бассейна)	–	Al, Sc, V, Er, Tm, Yb, Lu, Hf	Li, Si, P, Ti, Mn, Fe, Ba, Zr, Sr, Th, U, Ca, PP3Э *	Be, Mg, Co, Zn, Ge, In, Mo, Nb	Na, K, Cr, Ni, Cu, Cs, Sb, Cd, Ag, Rb, Sc, As, W, Hg, Tl, Pb, Bi	Sn	3286
Томск	ГРЭС-2 (каменные угли Кузнецкого бассейна и природный газ)	–	Zn	–	Li, Be, Ti, V, Co, Ni, Cu, As, Se, Ge, Sr, Mo, Ba, W	Na, Mg, Al, P, K, Cr, Mn, Fe, Zr, Cd, Sn, Hg, Pb, Th, U, PP3Э *	Ag	1405
Кемерово	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Li, Sr	Be, Na, Mg, Al, Si, K, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Th, U, PP3Э *	Zn, V, Cr, Nb, Mo, Cd, Bi	P, Cu, In, Sb, W, Hg	Se, Ag, Sn, Pb	–	6268
Мыски	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	–	–	Al, V, Co, Ge, Sr, Zr, Sc	Li, Mg, Si, P, Ti, Mn, Fe, Ni, As, Mo, Ba, Hg, Tl, Th, U, PP3Э *	Be, Na, K, Cr, Cu, Zn, Se, Rb, Cd, In, Sb, Cs, W, Bi	Ag, Sn	2181
Караганда	ТЭЦ (каменные угли Экибастуз. бассейна и мазут)	V, Hg, Na, Mg, Al, Si, Li, Mn, Fe, Co, Ni, Sr, Mo, Cd, Ba, Ca, PP3Э *	P, K, Be, Cr, Cu, As, Rb, Nb, In, Sb, Cs, La, Ce, Ta, Tl, Th, U	Ti, Se, W, Pb, Bi	–	Ag, Sn	–	34100

\* – PP3Э это группа редких элементов, включая редкоземельные, в изучаемом спектре химических элементов методом ИСП-МС; Hg – метод ААСМ

Выявлена общая закономерность формирования высоких уровней накопления *редкоземельных (Sc, Y и лантаноиды), редких (Hf, Ta, Ga, Ge, Zr, Cs) и радиоактивных (U, Th) элементов* в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия изучаемых ТЭС. В нерастворимом осадке снегового покрова также выделяются полиэлементные геохимические ассоциации данного спектра элементов, со статистически значимыми корреляционными связями (рисунок 5.3.2-5.3.6).

В нерастворимом осадке снегового покрова в районах расположения ТЭС, использующие угли Кузнецкого бассейна, величины отношения лантаноидов ((La+Ce)/(Yb+Lu)) изменяются от 32 до 34 ед. и близки к таковым в золе уноса (30–38 ед.) с этих предприятий, а в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ, где сжигается уголь Экибастузского бассейна, – от 21 до 22 ед. и сопоставимы с данными для их золы уноса (19 ед.) (рисунок 5.3.7). Уровни отношения лантаноидов отличаются от таковых для проб из зоны воздействия сельских котельных, использующие различные виды топлива, а также промышленных производств.

*Урановая специализация* наиболее ярко проявляется в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Юрга и г. Северска. Величины Th/U-отношения в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири находятся в диапазоне 2,0–2,9 ед. (рисунок 4.3.7), что свидетельствует о смешанной природе поступления радиоактивных элементов в соответствии с градацией (Рихванов и др., 2002; 2007; Язиков, 2006). Установленные уровни отношений близки к таковым для нерастворимого осадка снегового покрова в районах расположения угледобывающих объектов (1,4–2,2 ед.) и золы уноса ТЭС (2,0–2,2 ед.), указывают на эмиссию радиоактивных элементов за счет сжигания угля.

Выявленная техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия каждой из изучаемых ТЭС обусловлена геохимическими особенностями состава используемого топлива и выбрасываемой золы уноса.

Проявление *ванадиевой и бромной специфики* в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия некоторых из изучаемых ТЭС, к примеру, ТЭЦ г. Караганда, указывает на поступление загрязняющих веществ в результате сжигания жидкого топлива, например, мазута, который используется как растопочное топливо. В значимых концентрациях ванадий содержится в нефти и нефтепродуктах (Калинин и др., 2009; Яценко, 2012; Пунанова, 2017).

*Ртутная техногенная* геохимическая специализация наиболее выражена в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС, расположенных в Караганде, Мысках и Северске (таблица 5.3.1, 5.3.5). Специфика нерастворимого осадка снегового покрова на Hg и Br связана с выбросами от сжигания различных видов топлива. Ртуть содержится в природном газе (Рыжов и др., 1998), ртуть и бром – в нефти и продуктах ее переработки (Калинин и др., 2009;

Шпирт и Пуанова, 2011; Пуанова, 2017), шлейфах факелов сжигания попутного газа на нефтяных месторождениях и нефтеперерабатывающих заводах (Симоненков, 2015), а также в углях (Арбузов, 2005; Юдович и Кетрис, 2005; Волостнов и др., 2010; Шпирт и Пуанова, 2011; Белая и др., 2015; Osipova et al., 2019).

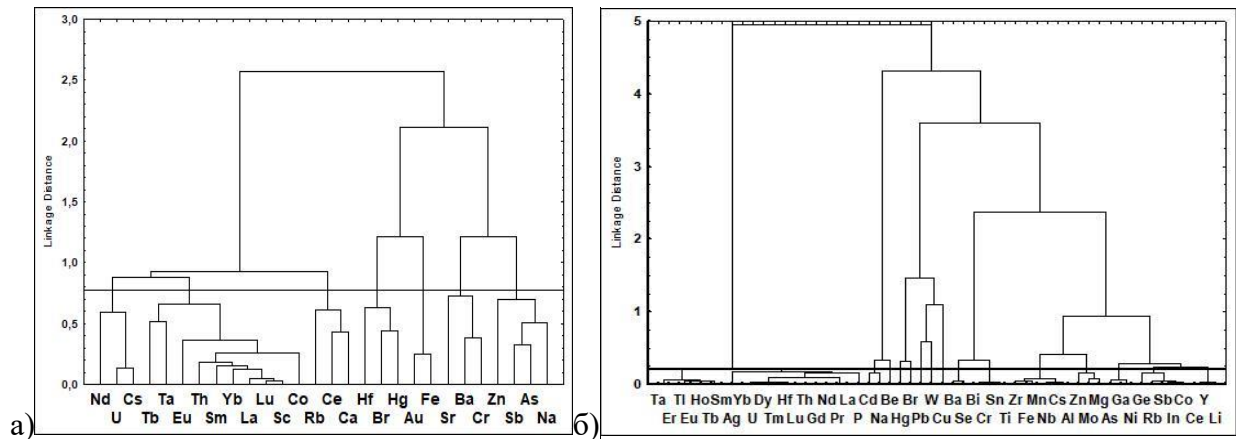


Рисунок 5.3.2. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска: а)  $1-r_{0,05} = 0,77$ ,  $n=69$ ; 2009–2018 гг.; ИНАА; б)  $1-r_{0,05}=0,19$ ,  $n=6$ ; ИСП-МС; Hg данные ААСМ

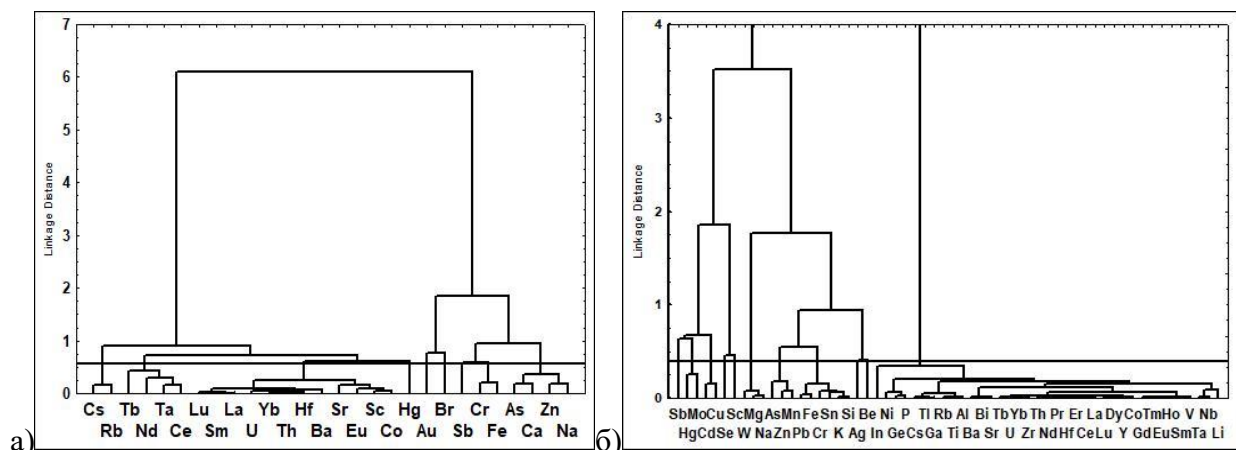


Рисунок 5.3.3. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС г. Мыски: а)  $1-r_{0,05}=0,56$ ,  $n=20$ ; ИНАА; б)  $1-r_{0,05}=0,4$ ,  $n=11$ ; ИСП-МС; Hg данные ААСМ

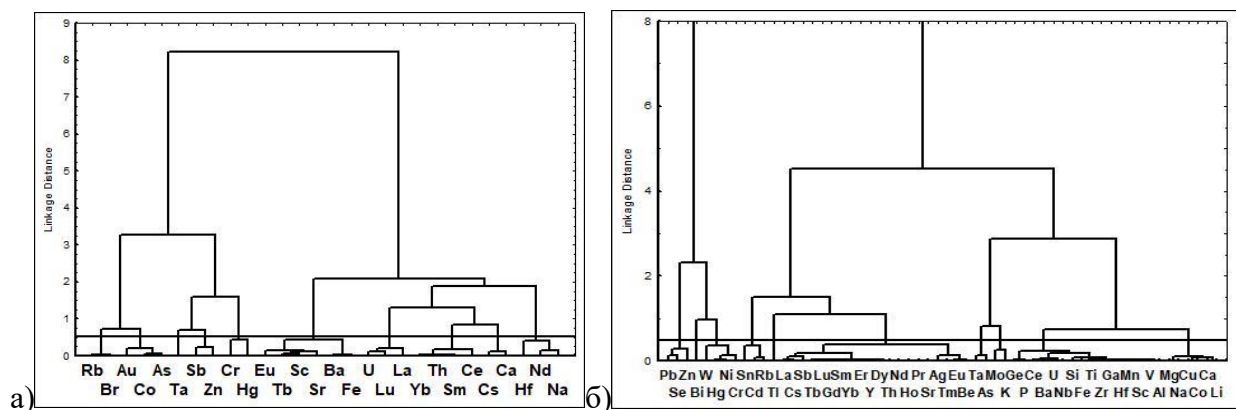


Рисунок 5.3.4. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Омска: а)  $1-r_{0,05}=0,51$ ,  $n=16$ ; ИНАА; б)  $1-r_{0,05}=0,49$ ,  $n=15$ ; ИСП-МС; Hg данные ААСМ

Наиболее существенный вклад в выбросы Hg в окружающую среду вносят теплоэлектростанции, использующие уголь (Янин, 1992; Ягольницер и др., 1995; Nelson et al., 2012; UNEP, 2013). Например, ежегодно около 3 тыс. тонн ртути выбрасывается в результате сжигания угля, а 1,25 тыс. тонн – сжигания нефтепродуктов (Янин, 1992). В Сибири объемы эмиссии ртути за счет воздействия ТЭС оцениваются на уровне 30% (Аношин, 2000).

Техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на *редкоземельные, радиоактивные и другие редкие элементы* в зоне воздействия изучаемых ТЭС определяется геохимическими особенностями состава используемых углей. Угли Кузнецкого бассейна характеризуются редкометалльной специализацией (Редкие ..., 2000; Волостнов, 2004; Арбузов, 2005; Арбузов и Ершов, 2007; Нифантов и др., 2011; Arbuzov et al., 2019), а угли Экибастузского бассейна – преобладанием сидерофильной группы элементов, скандия и ртути, а также присутствием в виде примесей урана, тория и редкоземельных элементов (Калинина, Арбузов и др., 2012; Кажумуханова и Арбузов, 2015; Arbuzov et al., 2015; 2019). В тоже время, уровни накопления элементов-примесей в золе угля в десятки раз выше, чем в самих углях (Редкие ..., 2000; Арбузов, 2015).

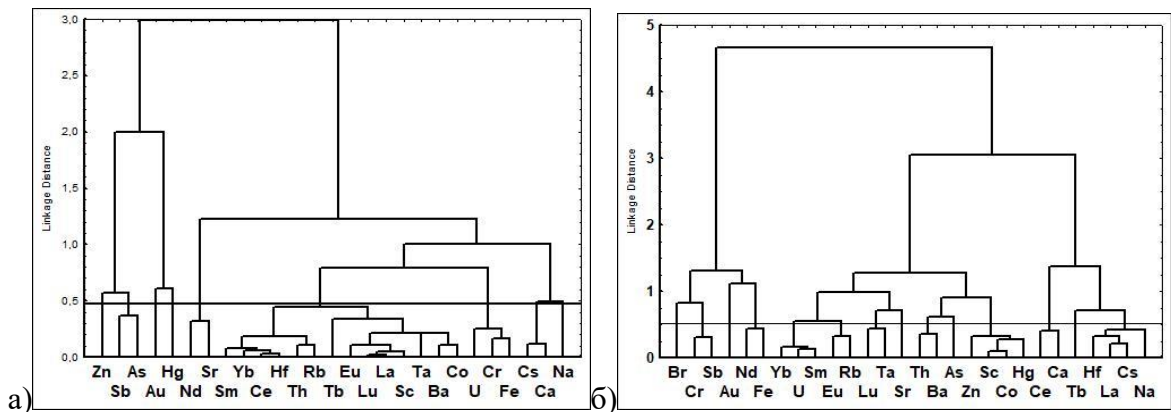


Рисунок 5.3.5. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия: а) ТЭС г. Северска ( $1-r_{0,05}=0,47$ ,  $n=14$ ); б) промзоны с ТЭС г. Юрга ( $1-r_{0,05}=0,52$ ,  $n=17$ ) (ИНАА, Hg данные ААСМ)

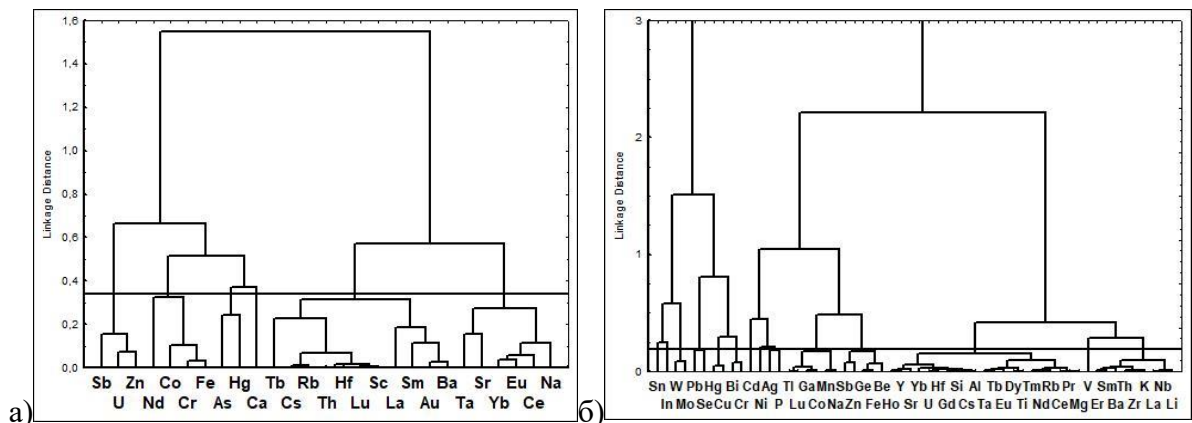


Рисунок 5.3.6. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС г. Кемерово: а)  $1-r_{0,05}=0,34$ ,  $n=14$ ; ИНАА; б)  $1-r_{0,05}=0,19$ ,  $n=6$ ; ИСП-МС; Hg данные ААСМ

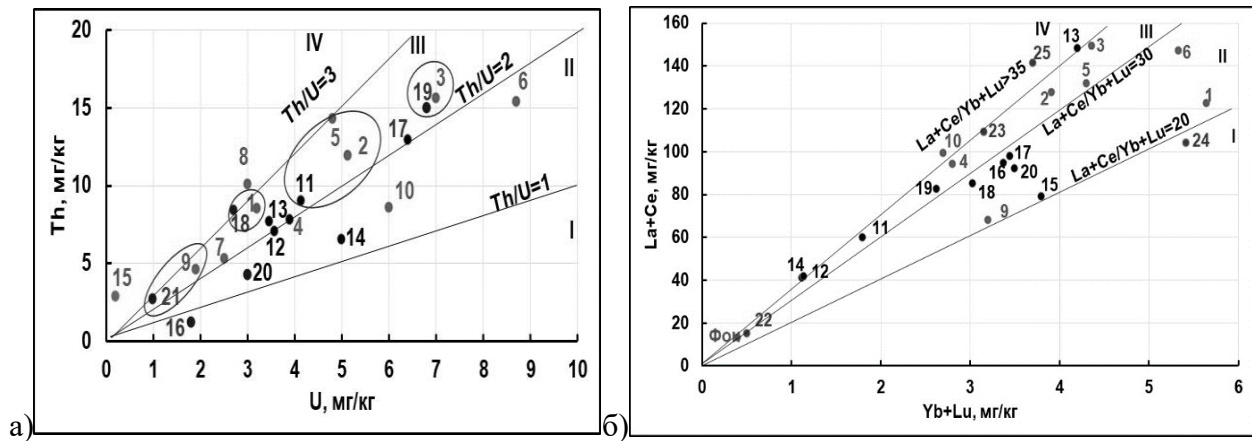


Рисунок 5.3.7. – Отношения химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики и других промышленных производств юга Западной Сибири: а) торий-урановое отношение; б) отношение суммы легких лантаноидов к тяжелым:

*нерастворимый осадок снегового покрова (1–15): предприятия теплоэнергетики (1–10): 1 – ТЭЦ (г. Омск); 2 – ГРЭС (г. Мыски); 3 – ТЭЦ (г. Северск); 4 – ГРЭС-2 (г. Томск); 5 – ГРЭС (г. Кемерово); 6 – ТЭЦ (г. Юрга); 7 – ТЭЦ-3 (г. Новосибирск; Артамонова, 2020); 8 – ТЭЦ-2 (г. Новосибирск; Артамонова, 2020); 9 – ТЭЦ (г. Караганда); 10 – котельная на угле (Томская обл.); угледобывающие предприятия (11–14): 11 – угольный разрез (г. Междуреченск); 12 – угольная шахта (г. Междуреченск); 13 – угольный разрез (г. Киселевск); 14 – угольная шахта (г. Черногорск); 15 – фон (Шатилов, 2001; Языков, 2006); зола уноса и угли (16–21): 16 – зола уноса (ГРЭС, г. Кемерово); 17 – зола уноса (ГРЭС, г. Томск); 18 – зола уноса (ТЭЦ, г. Караганда); 19 – зола уноса (ТЭЦ, г. Северск); 20 – уголь (Кузнецкий бассейн, Арбузов, 2005); 21 – уголь (Экибастузский бассейн, Арбузов, 2015)*

Определен одинаковый ход концентрации химических элементов и близкий уровень их содержания в нерастворимом осадке снегового покрова и золе уноса с некоторых изучаемых ТЭЦ и ГРЭС, использующие уголь (рисунок 5.3.8), что указывает на эмиссию химических элементов в окружающую среду за счет высокотемпературного сжигания топлива. Уровни концентрации химических элементов, выбрасываемые с парогазовой фазой после сжигания угля, например, As, Sb, Cu, Ni, Br, Mo, Hg, значительно ниже в составе золы уноса исследуемых ТЭС, чем в нерастворимом осадке снегового покрова.

По литературным данным в золе уноса большинство металлов, включая уран и торий, редкоземельные элементы, сорбируются на мелких и ультра-мелких твердых частицах, которые минуя систему пылегазоочистных установок, выбрасываются в окружающую среду. В тоже время, отдельные тяжёлые металлы (As, Sb, Cu, Ni, Se, Sn, Br, Mo, Hg) поступают в атмосферный воздух с парогазовой фазой, а некоторые химические элементы (As, Hg, Cd, Se, Cu, Mo, Cr, V, Zn, Sb) после сжигания угля во время охлаждения газов сорбируются на поверхности зольных частиц и образуют соединения с переменной валентностью (Кизильштейн, 2002; Xu et al., 2003; Юдович и Кетрис, 2005; Vejahati et al., 2010). Следовательно, происходит эмиссия химических элементов в составе пылегазовых выбросов ТЭС в атмосферный воздух, которые затем осаждаются в снеговой покров и формируют техногенные геохимические поля загрязнения компонентов природной среды в окрестностях ТЭС. Например, в процессе сжигания угля, уран конденсируется на тонкодисперсных твёрдых частицах, которые не улавливаются

электрофильтрами (Титаева, 2002), следовательно, минуя золоулавливающие системы поступают в окружающую среду. В атмосферном воздухе некоторых мегаполисов Китая выявлены уран и торий в составе микродисперсных техногенных аэрозолей (Shao et al., 2019). С выбросами ТЭС, использующие уголь, в атмосферный воздух поступают радиоактивные элементы и продукты их распада, в результате чего ТЭС представляют собой источники радиоактивного загрязнения (Овсейчук и др., 2012; Russell et al., 2017).

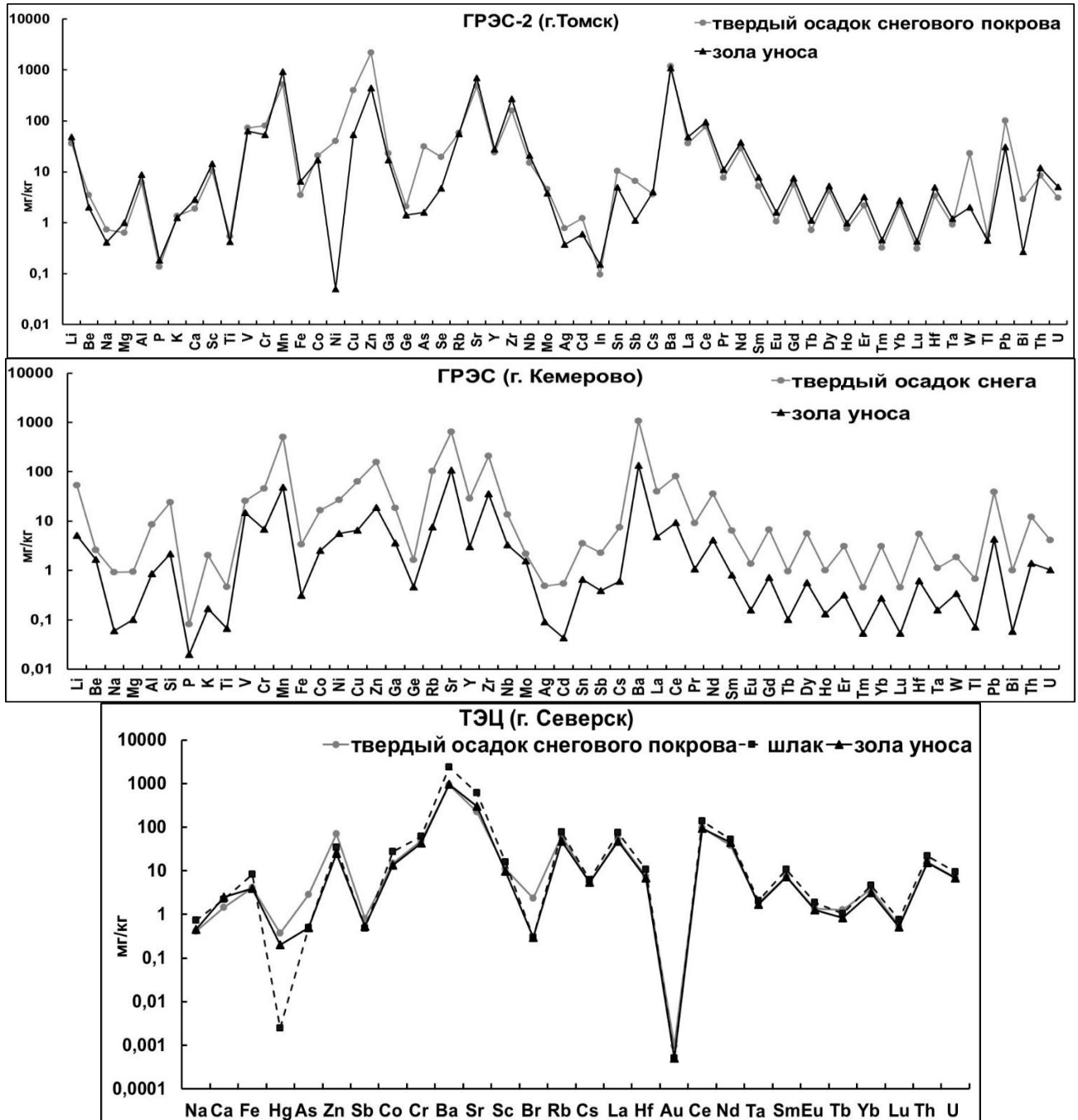


Рисунок 5.3.8. – Содержание химических элементов в нерастворимом осадке снежного покрова в зоне воздействия ТЭС юга Западной Сибири и в золе уноса

Предполагаем, что уровень концентрирования элементов-индикаторов в пробах нерастворимого осадка снежного покрова в зоне воздействия ТЭС может зависеть от степени обогащения угля и золы уноса теми или иными элементами-примесями. Например,

использование углей Итатского разреза, в которых выявлены высокие концентрации урана (Нифантов и др., 2011; Арбузов, 2015), вероятно обуславливают урановую специализацию нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Юрга. Специфика на Sc углей Экибастузского бассейна (Arbuzov et al., 2015) вероятно отражается в повышенных уровнях накопления Sc в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Омске и г. Караганда в сравнении с данными для проб из других изучаемых районов.

По общепринятым градациям (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012) для суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) в зонах воздействия изучаемых ТЭС формируется средний и высокий уровень загрязнения 28 и 59 химическими элементами, что создает опасную и очень опасную экологическую ситуацию (рисунок 5.3.9). Средний уровень загрязнения (113 ед.) также характерен для района расположения Ново-Иркутской ТЭЦ (г. Иркутск), где используются бурые угли Иркутского бассейна (Филимонова, 2017).

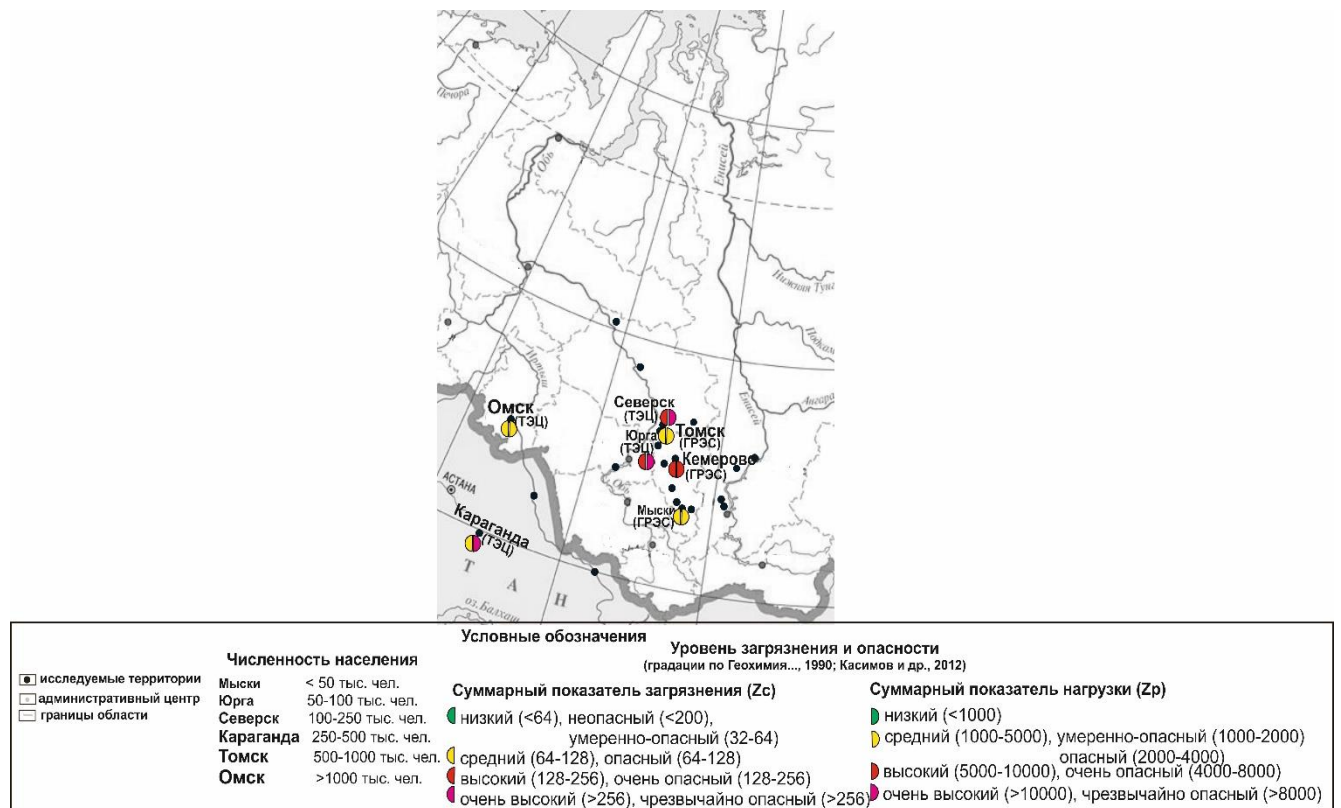


Рисунок 5.3.9. – Уровни суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) и нагрузки ( $Z_p$ ) в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири по данным изучения снегового покрова

По общепринятым градациям (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012) для суммарного показателя нагрузки ( $Z_p$ ) в зонах воздействия изучаемых ТЭС формируется средний уровень загрязнения 28 химическими элементами с умеренно-опасной и опасной экологической ситуацией, высокий с очень опасной, очень высокий с чрезвычайно опасной. Выявлен средний и высокий уровень загрязнения 59 химическими элементами, что соответствует опасной и очень опасной экологической ситуации (рисунок 5.3.9).



Таким образом, установлена общая закономерность формирования техногенной геохимической специализации нерастворимого осадка снегового покрова на редкоземельные, элементы (лантаноиды, Y, Sc), U, Th, Nb, Hf, Ta, Ge, Ga, Zr, Hg в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири. Редкометалльная специализация нерастворимого осадка снегового покрова обусловлена геохимическими особенностями состава используемых углей и золы уноса. Выявлен средний, высокий и очень высокий уровни загрязнения химическими элементами, соответствующие умеренно-опасной, опасной, очень опасной и чрезвычайно опасной экологической ситуации.

#### 5.4. Характеристика минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снега

В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири обнаружены природные образования (кварц, полевые шпаты, слюды, карбонаты; глинистые), и характерные типы техногенных частиц (микросферулы; угольные и сажеподобные, зола и шлак) (таблица 5.4.1-5.4.2).

Таблица 5.4.1. – Долевое содержание природных и техногенных образований в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС юга Западной Сибири и в фоновом районе

Предприятия теплоэнергетики	Природные образования, %					Техногенные образования, %					
	Сумма	Кварц	Карбонаты	Полевые шпаты	Растительные остатки	Сумма	Алюмосиликатные микросферулы	Металлические микросферулы	Зола, шлак	Угольные частицы, пыль	Волокнистые
ГРЭС (г.Мыски)	31	26	-	5		69	18	11	19	20	1
ТЭЦ (г. Юрга)	14	5	5	3	1	86	30	10	28	15	3
ТЭЦ (г.Северск)	27	20	-	7	-	73	25	11,6	22,3	15	2
ТЭЦ (г.Караганда)	25	13,3	-	7,2	4,5	75	24,5	15,5	20	15	
ГРЭС (г.Кемерово)	22,4	12,6	-	5,5	4,3	77,6	28,5	4,8	25,8	15,7	2,8
ГРЭС-2 (г.Томск)	27,4	19,3	2,5	3,3	1,3	72,6	15,6	6	20,2	27,3	3,5
ТЭЦ (г.Омск)	10,4	4,1	4,8		1,5	89,6	23,7	12,8	29,2	22,7	1,2
Фон	76	60	2	8	6	24	7	1	8	7	1

данные изучения на бинокулярном микроскопе

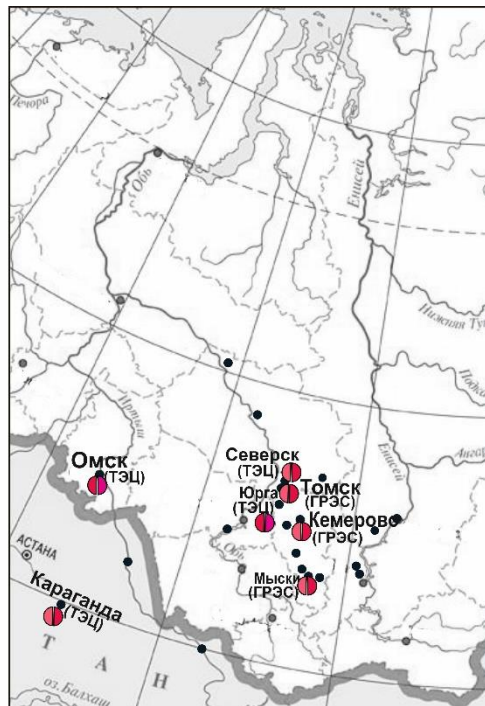
В нерастворимом осадке снегового покрова из зоны воздействия изучаемых ТЭС группа техногенных (74–90%) преобладает над группой природных образований (10–26%), при фоновых значениях 76 и 24%, соответственно (таблица 5.4.1; рисунок 5.4.1). Очень высокая доля группы техногенных частиц (>85%), превышающая фон более, чем в 3,5 раза, определена в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Омска. Высокая доля

техногенных частиц (60–85%) с превышением фона в 2,5–3,5 раза характерна для нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия других ТЭС.

Таблица 5.4.2. – Динамика минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск)

Год	Природные образования,%				Техногенные образования,%					
	Кварц	Полевые шпаты	Карбонаты	Растительные остатки	Угольные частицы, пыль	Зола и шлак,	Алюмосиликатные микрофрулы	Металлические микрофрулы	Волокнистые	Пыль цементная
2009	15	5	4	-	31	22	16	6	1	-
2010	17	4	-	1	30	18	17	9	3	1
2011	18	2	2	1	29	25	14	7	2	-
2012	20	4	1	2	32	21	13	4	2	1
2013	24	-	-	3	37		21	5	8	-
2014	22	3	3	1	28	15	18	5	5	-

данные изучения на бинокулярном микроскопе, Филимоненко, 2015



Условные обозначения	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● исследуемые территории</li> <li>□ административный центр</li> <li>□ границы области</li> </ul>	<p><b>Численность населения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Топки &lt; 50 тыс. чел.</li> <li>Юрга 50-100 тыс. чел.</li> <li>Ачинск 100-250 тыс. чел.</li> <li>Караганда 250-500 тыс. чел.</li> <li>Томск 500-1000 тыс. чел.</li> <li>Омск &gt;1000 тыс. чел.</li> </ul>
<p><b>Уровень загрязнения техногенными образованиями</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ фондовый (&gt;76)</li> <li>■ высокий (65-75)</li> <li>■ средний (40-65)</li> <li>■ низкий (15-40)</li> <li>■ очень низкий (&lt;15)</li> </ul>	<p><b>Доля техногенных частиц, %</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ фондовый (&lt;24)</li> <li>■ низкий (25-35)</li> <li>■ средний (35-60)</li> <li>■ высокий (60-85)</li> <li>■ очень высокий (&gt;85)</li> </ul>

Рисунок 5.4.1. – Уровень содержания природных и техногенных образований в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС юга Западной Сибири

В пробах наиболее распространёнными и преобладающими в долевого содержании являются минеральные фазы кварца ( $\text{SiO}_2$ ) и полевых шпатов (альбит ( $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ )), микроклина

$K(AlSi_3O_8)$ , анортита  $(Ca,Na)(Si,Al)_4O_8$ , ортоклаза  $(K[AlSi_3O_8])$ , а также присутствуют в небольших количествах слюды (мусковит  $(KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2)$ ) и карбонаты (кальцит  $(CaCO_3)$ , доломит  $(CaCO_3 \cdot MgCO_3)$ ), а в отдельных пробах глистные минералы (хлорит, каолинит  $(Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8)$ ) (таблица 5.4.3).

Таблица 5.4.3. – Долевое содержание кристаллических (минеральных) и аморфных фаз, отношение муллита/кварц в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС юга Западной Сибири, в фоновом районе и золе уноса

Минерал, фаза, %	Нерастворимый осадок снегового покрова								Зола уноса		
	ГРЭС (г.Мыски)	ТЭЦ (г.Юрга)	ТЭЦ (г.Северск)	ТЭЦ (г.Караганда)	ГРЭС (г.Кемерово)	ГРЭС-2 (г.Томск)	ТЭЦ (г.Омск)	Фон	ТЭЦ (г.Северск)	ГРЭС-2 (г.Томск)	ГРЭС (г.Кемерово)
Кварц ( $SiO_2$ )	40,3	58,8	37	14,2	24,2	59,7	19,3	63,7	34,3	47,3	20,6
<b>Муллит (<math>3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2</math>)</b>	<b>36</b>	<b>39</b>	<b>32,9</b>	<b>21,9</b>	<b>21,6</b>	<b>12</b>	<b>60,6</b>	<b>&lt;1</b>	<b>37,4</b>	<b>23,2</b>	<b>22</b>
Альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ )	10,7	10,9	–	12,1	28,2	14,1	–	29,1	–	29,6	27,8
Ортоклаз ( $K[AlSi_3O_8]$ )	20,1	–	27,3	–	36,8	–	–	–	27,1	–	–
Микроклин ( $K(AlSi_3O_8)$ )	–	–	–	–	–	–	12,8	–	–	–	–
Анортит ( $(Ca,Na)(Si,Al)_4O_8$ )	–	–	–	–	–	–	14,8	–	–	–	29,7
Кальцит ( $CaCO_3$ )	7,1	–	–	–	15,2	–	2,5	–	–	–	–
Доломит ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ )	13,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Мусковит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ )	–	–	–	–	–	–	10,3	–	–	–	–
Каолинит ( $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ )	–	–	–	12,7	–	–	7,7	–	–	–	–
хлорит	–	–	–	15,2	–	6,1	–	3,6	–	–	–
Оксиды железа( $Fe_2O_3$ )	8,6	2,2	2,7	–	–	–	1,5	2,3	3,8	–	–
Диопсид ( $CaMg(Si_2O_6)$ )	–	–	–	–	–	8,1	–	3,6	–	–	–
Кристаллическая	59,7	56,3	46,8	73,5	53,8	65	60	92,8	46,8	67,2	64,5
Аморфная	40,3	43,7	53,2	26,5	46,2	35	30	7,2	54,7	32,8	35,5
Муллит/кварц	0,9	0,7	0,9	1,5	0,9	0,2	3,1	0,01	1,1	0,5	1,1

метод рентгеновской дифрактометрии; «–» – ниже предела обнаружения

По данным метода рентгеновской дифрактометрии долевое содержание кристаллических (минеральных) фаз в нерастворимом осадке снегового покрова составляет 45–73%, а аморфных фаз – 27–55%, при фоновых значениях 92,8 и 7,2%, соответственно (таблица 5.4.3). Следует отметить, что по данным многолетнего мониторинга в районе размещения ГРЭС-2 в г. Томске нами также было установлено качественное содержание кристобалита, муллита, минералов

оксидов железа, а также кварца, аморфного кварца, альбита, калиевых полевых шпатов, карбонатов (кальцит, доломит) и слюд в нерастворимом осадке снегового покрова (Таловская, 2008). Это может указывать на наличие постоянного источника поступления минералов в снеговой покров. Результаты детального изучения нерастворимого осадка снегового покрова на сканирующем электронном микроскопе также показали присутствие микрочастиц по своему составу и морфологии близкие к природным аналогам – силикатам и карбонатам (таблица 5.4.4). Определено, что эти микрочастицы имеют размеры от 0,7 до 45 мкм, и в сумме составляют 26% от содержания всех микрочастиц (таблица 5.4.4). В образцах снегового покрова в районе размещения ТЭЦ г. Благовещенска (Голохваст, 2014) и г. Новосибирска (Девятова, 2005) обнаружены также минеральные алюмосиликатные микрочастицы.

Таблица 5.4.4. – Микрочастицы, близкие по составу к силикатам и карбонатам, в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск)

Тип	Содержащиеся элементы	Подтип	Вид	Доля (%) <sup>*</sup>	Мин-Макс размер (мкм)	Средний размер±SD (мкм)
Силикаты	Si, O	алюмосиликаты	кварц?	10	1.5 – 30.1	12.2 ± 4.2
	Si, Al, Na, O		альбит?	8	1.8 – 32.6	13.5 ± 4.7
	Si, Al, O		глинистые?	2	1.5 – 7.5	4.3 ± 1.2
	Si, Al, K, O		слюда?	1	7.5 – 8.5	7.2 ± 1.4
	Si, Al, Mg, Fe, O	амфиболы	амфиболы?	2	1.5 – 12.2	5.3 ± 0.8
	Si, Zr, O	силикат Zr	циркон?	0.5	0.7 – 31.0	12.9 ± 3.4
Карбонаты	Ca, C, O	карбонат	кальцит?	2.5	7.0 – 44.7	35.5 ± 5.7

метод сканирующей электронной микроскопии; SD – стандартное отклонение; ? – близкий к природному аналогу; \* – частота встречаемости от 300 изученных микрочастиц

Поступление минеральных фаз может быть связано с выбросами золы уноса. Обнаружены минеральные фазы кварца, альбита и анортита в золе уноса некоторых из изучаемых ТЭС (таблица 5.4.3). Согласно литературным данным, минералы (кварц, полевые шпаты, карбонаты, гематит, магнетит и др.) являются аксессуарными в углях (Finkelman et al., 1995; Arbuzov et al., 2016). При высокотемпературном сжигании углей минералы могут аккумулироваться и/или образовываться в золе уноса, а затем вместе с твердыми выбросами могут поступать в атмосферный воздух в первоначальной или преобразованной форме (Кизильштейн и др., 1995; Mitchell et al., 1976; Goodarzi, 2006), а потом накапливаться в снеговом покрове в районах размещения ТЭС (Федорова, 2008). С другой стороны, в городских условиях источниками кварца и полевых шпатов, а также других минералов, можно рассматривать и антигололедные мероприятия с использованием песко-соляной смеси.

В нерастворимом осадке снегового покрова определены техногенные образования, характеризующие воздействие предприятий теплоэнергетики. Доминируют угольные и сажеподобные частицы (15–27%), зола и шлак (20–30%), алюмосиликатные (15–29%) и металлические (11–15%) микросферы (таблица 5.4.4). Анализ динамики минерально-

вещественного состава нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска показал сохранение поступления техногенных частиц (таблица 5.4.2).

Аморфная фаза в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС отражает присутствие техногенных частиц, например, угольные и сажеподобные, шлак и зола. Очень высокая доля аморфной фазы ( $>42\%$ ), превышающая фон более, чем в 6 раз, определена в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС, расположенных в Северске, Юрге и Кемерово (таблица 5.4.3).

В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия изучаемых ТЭС долевое содержание золы и шлака превышает фон в 2,5–3,5 раза, а угольных и сажеподобных частиц – в 2–3 раза. Существует прямая зависимость негативного влияния на респираторную систему человека частиц угольной золы и сажи, содержащихся в воздухе (Мякишева и Германова, 2005).

Наиболее высокая доля металлических микросферул (13–16%), превышающая фон в 1,5–2,5 раза, определена в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Караганда и г. Омска, где используются экибастузские угли. Микросферулы составляют основу магнитной фракции проб. Например, в магнитной фракции проб из района расположения ТЭЦ г. Омска на долю металлических микросферул приходится до 90%. При этом доля магнитной фракции в пробах изменяется от 5 до 19%, а по мере удаления от ТЭЦ в северо-восточном направлении на расстояние 0,75–3 км доля магнитной фракции (5–16%) увеличивается, что свидетельствует о высоком выпадении металлических микросферул в дальней зоне от ТЭЦ (1,5–3 км).

Высокая доля (25–29%) алюмосиликатных микросферул, которая выше фона (7%) в 3,5–4,5 раза, характерна для нерастворимого осадка снегового покрова в районе размещения ТЭС в Северске, Омске, Караганде, Кемерово, на которых преимущественно используется твердое топливо. Например, в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска, где применяется уголь и природный газ, долевое содержание микросферул изменяется от 10 до 20% в течение многолетнего периода наблюдений (таблица 5.4.2).

Техногенные образования в виде выявленных *минеральных фаз муллита* в нерастворимом осадке снегового покрова (таблица 5.4.3) проявляются в форме алюмосиликатных микросферул. В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия изучаемых ТЭС определена закономерность формирования высокой доли муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), а в отдельных пробах минералов оксидов железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), которые можно рассматривать как минералы-индикаторы воздействия ТЭС. Муллит также идентифицирован нами в золе уноса на уровне 22–23%, а минералы оксидов железа – 2,7 %, что указывает на происхождение этих минеральных фаз в снеговом покрове. В снеговом покрове городов Прибайкалья муллит определен также как техногенное образование-индикатор, связанный с воздействием объектов теплоэнергетики (Федорова, 2008; Рогова и др., 2009).

Нами предложено использовать *отношение муллит/кварц* в качестве признака определения генезиса твердых частиц, связанных с выбросами предприятий теплоэнергетики, которое находится в пробах на уровне 0,2–3,1, при фоне 0,01 ед. (таблица 5.4.3). Установленные уровни отношений муллит/кварц сопоставимы с таковыми для золы уноса изучаемых ТЭС, что указывает на источники загрязнения. Например, в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Омска и г. Караганда, где используются экибастузские угли, наблюдается наиболее высокое отношение муллит/кварц, чем в пробах из других районов.

Детальные исследования морфологии и полуколичественного элементного состава (масс.%) микрочастиц в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия всех изучаемых ТЭС с помощью сканирующей электронной микроскопии позволили получить дополнительные данные о качественных и количественных характеристиках техногенных образований, которые типизированы на: 1) *углеродсодержащие*; 2) *шлаковые*; 3) *микросферулы*; 4) *металлосодержащие*. В качестве примеров представлены результаты исследований для некоторых из изучаемых ТЭС (таблица 5.4.5–5.4.9).

Таблица 5.4.5. – Микрочастицы углеродсодержащие, шлаковые и микросферулы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск)

Тип	Элементы	Вид	Разновидности	Доля (%)*	Мин-Макс размер (мкм)	Средний размер (мкм)
Углеродсодержащие	C, S	угольные	–	12	4.1 – 40.2	25.6±4.1
	C, S	сажа	–	н.д.	0.20–0.30 (размер зерен)	н.д.
Шлаковые	Si, Al, Ca, Fe, K, O	шлак	–	9	5.3 – 20.1	14.3±3.2
Микросферулы	Al, Si, O	алюмо-силикатные	гладкие	14	0.5 – 45.0	12.3±4.5
			поровые	4	1.5 – 16.4	7.3±2.2
	Al, Si, Fe, O	алюмосиликатно-железистые	алюмосиликатно-железистые	3	4.2 – 6.7	7.0±1.7
	Fe, O	железистые (ферросферулы)	дендритные	3	5.5 – 31.5	8.3±2.4
			гладкие	2	1.1 – 2.5	1.5±0.7
			полигональные	3	5.3 – 10.1	3.5±0.9
	Al, Si, Ca, O	Са-обогащенные	гладкие	2	2.2 – 10.0	6.6±2.3
	Al, Si, Ca, Fe, O		шероховатые	1	2.3 – 5.0	2.5±1.1

метод сканирующей электронной микроскопии; ± – стандартное отклонение; \* – частота встречаемости от 300 изученных микрочастиц

В каждом типе микрочастиц выделены свои виды с учетом их морфологических особенностей и характеристик элементного состава. Предложенные типы микрочастиц базируются на литературных данных по изучению взвешенных частиц в атмосферном воздухе и в снеговом покрове в районах расположения предприятий различного профиля и удаленных

районах от техногенного воздействия (Gregurek et al., 1999; Vernabe' et al., 2005; Шевченко, 2006; Zhang et al., 2011; Miler и Gosar, 2015).

Тип *«углеродсодержащие микрочастицы»* включают угольные частицы или частицы недожога угля, сажу (таблица 5.4.5; рисунок 5.4.2), которые также были обнаружены в составе золы уноса (таблица 5.4.10). Сажа может образовываться как при сжигании угля, так и природного газа, а также за счет выбросов автотранспорта (Голохваст и др., 2014; Huang et al., 2015). Высокие концентрации сажи наблюдаются в атмосферном воздухе в зимний период в г. Томске, максимум при этом приходится на январь (Kozlov et al., 2011), т.е. в период интенсификации работы предприятий теплоэнергетики. Методом масс-спектрометрии в лабораториях Университета Карлсруэ (Германия) нами определено отношение изотопов углерода  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  равного 25,3 в нерастворимом осадке снегового покрова в районе расположения ГРЭС-2 (Таловская, 2008). Это связано с высоким содержанием угольных и сажеподобных частиц (30–37%) в пробах по результатам бинокулярной микроскопии. Полученными нами данные по отношению изотопов углерода соотносятся с литературными данными для нерастворимого осадка снегового покрова из района золоотвала ГРЭС-2 ( $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=26,2$ ) и сопоставимы с отношением для сажи, образующейся при сжигании каменного угля (24,2–25,6) (Калашникова, 2020). Выявленное нами отношение изотопов углерода свидетельствует о преобладании органического углерода в пробах, поскольку тяжелый изотопный состав по углероду имеет каменный уголь и угольная сажа (Калашникова, 2020). В нерастворимом осадке снегового покрова в фоновом районе, в котором содержание углеродсодержащих частиц намного меньше (около 10%), отношение  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  составляет 27,4.

Тип *«шлаковые микрочастицы»* включают частицы шлака и золы, которые имеют преимущественно поровую структуру и в основном состоят из Si, Al, O, Ca с примесями Fe и K (таблица 5.4.5; рисунок 5.4.3). Подобные частицы были идентифицированы нами также в золе уноса (таблица 5.4.10).

Наиболее распространёнными типами техногенными микрочастицами являются *микросферулы*. Микросферулы на основе их элементного состава разделены на четыре вида 1) алюмосиликатные; 2) алюмосиликатно-железистые; 3) железистые (ферросферулы); 4) редкоземельные (лантан-цериевые и иттриевые) (таблица 5.4.5, таблица 5.4.8–5.4.9, рисунок 5.4.4; рисунок 5.4.6–5.4.7).

Первые три вида микросферул также выявлены в золе уноса (таблица 5.4.10, рисунок 5.4.5), что соотносится с литературными данными о накоплении микросферул в золе уноса от сжигания кузнецких углей (Фоменко, 1998; Zuyuanov et al., 2011), а также от сжигания углей других российских (Кизильштейн и др., 1995; Сокол и др., 2001) и зарубежных бассейнов (Vassilev, 1992; Koukouzas et al., 2006; Zhao et al., 2006).

Таблица 5.4.6. – Металлсодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск)

Микрочастицы	Содержащиеся элементы	Тип	Вид	Доля (%)*	Мин-Макс размер (мкм)	Средний размер (мкм)
Металло-содержащие	Fe, S	Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды?)	сульфиды Fe	1.5	3.0–13.0	6.8 ± 1.3
	Fe, Cu, S		сульфиды Fe и Cu	1.5	2.0–2.3	2.1 ± 0.1
	Zn, S, Fe		сульфиды Zn с примесями Fe	0.5	2.0 – 3.6	2.9 ± 0.3
	Pb, S		сульфиды Pb	0.5	1.7 – 5.7	3.3 ± 0.6
	Fe, As, S		сульфиды Fe и As	0.5	2.4–12.0	5.3 ± 2.3
	Sb, S		сульфиды Sb	0.5	2.0 – 2.8	2.4 ± 0.2
	Ba, S, O	Содержащие металлы, S и O (Me-S-O, сульфаты?)	сульфат Ba	5	3.6–26.0	8.8 ± 3.0
	Ba, O	Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	оксиды Ba	0.5	14.6–51.4	26.7±12
	Ti, O		оксиды Ti	0.5	8.7– 97.5	40.0±19
	Ni, O		оксиды Ni	0.5	1.9 – 2.2	2.0 ± 0.1
	Cu, O		оксиды Cu	0.5	6.8 – 9.1	8.1 ± 0.3
	Ag, O		оксиды Ag	0.3	0.8*	0.8
	Fe, O		оксиды Fe	5	2.1–127	38.0±29
	Fe, Ca, O		оксиды Fe и Ca	1	8.3–10.5	7.3±1.1
	Cu, Sn, Zn, Pb, Fe	Интерметаллические (интерметаллиды)	интерметаллические с Cu	0.3	2.3*	2.3
	Cu, Sn, Co, Zn, Fe		как преобладающим металлом	0.3	1.6 – 2.4	2.1 ± 0.2
	Cu, Fe		W-Ti-Fe	0.3	5.6*	5.6
	W, Ti, Fe		Pb-Sb-Fe-Ti	0.3	1.4*	1.4
	Pb, Sb, Fe, Ti		Cu-Au-Ag	0.3	3.6*	3.6
	Cu, Au, Ag			0.3	0.9*	0.9
	Al, Si, P, La, Ce, O	Содержащие редкоземельные элементы	лантан-цериевые микросферулы	0.3	1.1*	1.1
	Al, Si, P, Y, Dy, Gd, Fe, O		иттриевые микросферулы	0.3	3.4*	3.4
	Ce, La, Nd, Al, Si, P, O		цериевые фосфаты	0.3	1.9*	1.9

метод сканирующей электронной микроскопии; ± – стандартное отклонение; \* – одна частица определена; \* – частота встречаемости от 300 изученных микрочастиц; ? – близкие к минеральным аналогам

Следует отметить, что по литературным данным, алюмосиликатные и железосодержащие микросферулы обнаруживали в почвогрунтах в районе размещения ГРЭС-2 г. Томска (Жорняк, 2009), в снеговом покрове в районах расположения ТЭЦ, например, в г. Новосибирске (Девятова, 2005), г. Иркутске (Филимонова, 2017), а также на удаленных от урбанизации территориях, например, в Арктике (Шевченко, 2006) и Западном Тянь-Шане (Zhang et al., 2011), на фоновом



профиле от Томска до эстуария Оби (Шевченко и др., 2015). Данные факты свидетельствуют о поступлении микросферул за счет сжигания угля и о их переносе на большие расстояния.

Анализ показал, что первые три вида микросферул в разных масс.% преимущественно содержат Al, Si, Fe, поэтому на основе суммы содержания Al и Si (Al+Si) и Fe микросферулы разделены на три типа: 1) алюмосиликатные ( $15\% < Al+Si \leq 25\%$ ); 2) алюмосиликатно-железистые ( $10\% < Al+Si \leq 15\%$ ); 3) железистые (ферросферулы) ( $Al+Si \leq 10\%$ ) (рисунок 5.4.6).

Таблица 5.4.7. – Элементный состав металлосодержащих микрочастиц в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск)

Микрочастицы	Тип	Вид	Среднее содержание элементов, масс.%
Металло-содержащие	сульфиды?	сульфиды Fe	19 (S), 49 (Fe)
		сульфиды Fe и Cu	14 (S), 1 (Fe), 35 (Cu)
		сульфиды Zn с примесями Fe	23 (S), 51 (Zn), 2 (Fe)
		сульфиды Pb	2 (S), 28 (Pb)
		сульфиды Fe и As	8 (S), 12 (As), 12 (Fe)
		сульфиды Sb	19 (S), 39 (Sb)
	сульфаты?	сульфаты Ba	4 (S), 30 (Ba), 39 (O)
	оксиды	оксиды Ba	28 (Ba), 42 (O)
		оксиды Ti	33 (Ti), 34 (O)
		оксиды Ni	46 (Ni), 24 (O)
		оксиды Cu	45 (Cu), 14 (O)
		оксиды Ag	12 (Ag), 37 (O)
		оксиды Fe	50,1 (Fe), 29,3(O)
		силикат Zr	31,7 (Zr), 9,8 (Si), 33,8 (O)
	интерметаллические	Cu как преобладающий металл	74 (Cu), 5 (Sn), 4 (Zn), 2 (Pb), 2 (Fe)
			57 (Cu), 8 (Sn), 7 (Co), 4 (Zn), 2 (Fe)
			73 (Cu), 1 (Fe)
		W-Ti-Fe	35 (W), 14 (Ti), 4 (Fe)
		Pb-Sb-Fe-Ti	25 (Pb), 24 (Sb), 4 (Fe), 1 (Ti)
	Cu-Au-Ag	13 (Cu), 14 (Au), 1 (Ag)	
	содержащие редкоземельные элементы	лантан-цериевые микросферулы	21 (La), 17 (Ce), 6 (Si), 2 (Al), 52 (O)
		иттриевые микросферулы	24 (Y), 3 (Ga), 6 (Dy), 6 (Si), 4 (Al), 3 (Fe), 4 (P), 35 (O)
		цериевые фосфаты	22 (Ce), 14 (La), 6 (Nd), 3 (Al), 12 (Si), 10 (P), 31 (O)

метод сканирующей электронной микроскопии

*Первый вид* – алюмосиликатные микросферулы имеют гладкую и поровую структуру, характеризуются высокой частотой встречаемости в пробах (> 10%). Как отмечалось выше, эти микросферулы содержат техногенный минерал муллит и являются типичными для золы уноса, образуясь в основном за счет расплавления глистных минералов (Vassilev, 1992; Кизильштейн и др., 1995; Сокол и др., 2001; Zhao et al., 2006). Послойный анализ снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска показал, что алюмосиликатные микросферулы встречаются во всех слоях снега и равномерно распределены в снеговой толще, свидетельствуя о их поступлении с начала отопительного зимнего сезона.

Таблица 4.4.8. – Микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ (г. Омск)

Тип	Вид	Разновидности	Среднее содержание элементов, масс.%	Доля (%)*
Микросферулы	Алюмосиликатные	гладкие	Al (12,8), Si (20,1), Fe (5,1), O (46,3)	15,5
		поровые		4,5
	Алюмосиликатно-железистые	алюмосиликатно-железистые	Al (8,3), Si (9,9), Fe (34,5), O (42,7)	5,2
	Железистые (ферросферулы)	дендритные	Al (3,1), Si (3,3), Fe (58,3), O (29,6)	3,5
		гладкие		5,5
		полигональные		4,2
Микрочастицы	Тип	Вид	Содержание, масс.%	%
Металло-содержащие	Содержащие металлы и S (Me-S, сульфиды?)	Pb-S	Pb (52,2), S (4,7)	9,2
		Ag-S	Ag (33,5), S (4,1)	3,3
		Zn-S	Zn (41,9), S (16,9)	2
		Sb-S	Sb (14,8), Cu (25,1), Zn (4,7), Fe (1,7), As (3,8), S (14,2)	3,9
		Fe-S	Fe (35,6), S (34,2)	0,7
	Содержащие металлы, S и O (Me-S-O, сульфаты?)	Ba-S-O	Ba (38,4), S (9,6), O (34,3)	5,2
	Содержащие металлы и O (Me-O, оксиды металлов)	Sb-Fe-O	Sb (30,4), Fe (24,4), O (24,2)	0,7
		Fe-O	Fe (70,1), O (19,2)	9,8
		Zr-Si-O	Zr (56), Si (12,9), Al (6,7), O (22,7)	0,7
		Zn-O	Zn (63,5), O (30,2)	1,3
		Ti-O	Ti (44,3), O (52,9)	1,3
		Bi-O	Bi (49), O (21,4)	1,3
		U-O	U (29,7), O (39,8), P (3,7), Si (6,1), Al (8,9), Ca (2,8), Fe (1,5)	1,3
	Интерметаллические (интерметаллиды)	Cu-Zn	Cu (57,9), Zn (17,6)	1,3
		Cu-Fe-Sn-Ti	Cu (55,6), Fe (9,4), Sn (12,6), Ti (3)	0,7
		Au-Ag-Cu	Cu (17,2), Ag (2,7), Au (33,9)	0,7
		Cr-Fe	Cr (13,6), Fe (77,7)	1,3
		Co-Cu-Sn-Fe	Co (54,8), Cu (16,7), Sn (2,4), Fe (1,8)	0,7
		W-Mn	W (53,3), Mn (15,9)	0,7
	Содержащие редкоземельные элементы	цериевые фосфаты	La (9,5), Ce (19,9), Nd (6,1), Th (4), P (9,1), O (32,8)	3,3
		иттриевые фосфаты	Y (31,1), Ga (1,1), Dy (5,7), Ho (0,9), Er (3,2), Yb (2,8), U (0,4), P (16,3) O (34,2)	0,7

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – частота встречаемости от 153 изученных микрочастиц; ? – близкие к минеральным аналогам

*Второй вид* – алюмосиликатно-железистые, характеризуются наличием на «теле» микросферулы алюмосиликатного состава отдельных микровключений, представленные фазами оксидов железа (масс. %: Fe $\geq$ 25, O $\geq$ 45). *Третий вид* – железистые микросферулы или

*ферросферулы*, которые отличаются высоким содержанием оксидов железа (масс. %: Fe $\geq$ 60, O $\geq$ 30), а также дендритной, гладкой или полигональной структурой поверхности.

Таблица 5.4.9. – Микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС (г. Мыски)

Тип	Вид	Разновидности	Среднее содержание элементов, масс. %	Доля (%)*
Микросферулы	Алюмосиликатные	гладкие	Al (10,5), Si (14,2), Fe (6,1), O (49,3)	20,2
		поровые		4,3
	Железистые (ферросферулы)	гладкие	Al (2,5), Si (2,8), Fe (54,7), O (39,6)	18
		полигональные		2
Микрочастицы	Тип	Вид	Содержание, масс. %	%
Металло-содержащие	Содержащие металл и S (Me-S, сульфиды?)	Fe-S	Fe (46,8), S (41,6)	8,9
	Содержащие металл, S и O (Me-S-O, сульфаты?)	Ba-S-O	Ba (54,1), S (12,6), O (28,3)	8,9
	Содержащие металл и O (Me-O, оксиды металлов)	Fe-O	Fe (68,3), O (23,6)	26,7
		Fe-Ti-O	Fe (59,8), Ti (2,7), O (33,4)	2,2

метод сканирующей электронной микроскопии; \* – частота встречаемости от 45 изученных микрочастиц; ? – близкие к минеральным аналогам

Таблица 5.4.10. – Характеристика микрочастиц в золе уноса (на примере ГРЭС-2 г. Томска)

Тип	Содержащиеся элементы	Вид	Разновидности	Мин-Макс размер (мкм)	Средний размер (мкм)
Углеродсодержащие	C, S	угольные	–	1.4 – 9.6	5.2 $\pm$ 0.8
Шлаковые	Si, Al, Ca, Fe, K, O	шлак	–	3.8 – 10.8	7.3 $\pm$ 1.7
Микросферулы	Al, Si, O	алюмосиликатные	гладкие	1.1 – 38.0	7.2 $\pm$ 2.3
			поровые	7.3 – 85.1	40.7 $\pm$ 19.3
	Al, Si, Fe, O	смешенные алюмосиликатно-железистые	смешенные алюмосиликатно-железистые	2.2 – 3.9	3.3 $\pm$ 0.6
	Fe, O	ферросферулы	дендритные	9.3 – 16.7	10.5 $\pm$ 1.4
			гладкие	1.5 – 5.5	3.3 $\pm$ 0.9
			полигональные	3.4 – 7.5	3.6 $\pm$ 1.2
Al, Si, Ca, O	Са-обогащенные	гладкие	5.6 – 8.3	4.5 $\pm$ 1.2	
Al, Si, Ca, Fe, O		шероховатые	5.3 – 10.2	7.0 $\pm$ 1.6	

метод сканирующей электронной микроскопии;  $\pm$  – стандартное отклонение

По литературным данным, в золе уноса угольных ТЭЦ характер поверхности ферросферул обуславливает морфология рудных минералов и их агрегатов. Основным компонентом этих микросферул являются оксиды железа (гематит), в их составе содержатся ферришпинелиды, ферриты Mg, Ca и Mn. Дендритная структура поверхности указывает на сростки шпинелидов. Железистые шпинелиды существуют в виде нерастворимого раствора магнетита и в ряде случаев феррита марганца (Сокол и др., 2001). Вероятно, структура поверхности ферросферул в

нерастворимом осадке снегового покрова также связана с проявлением в различных формах минералов оксидов и ферритов железа.

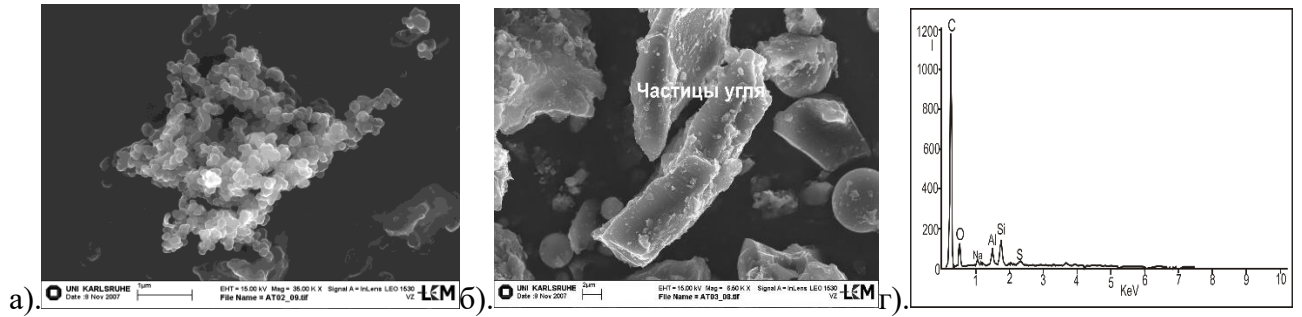


Рисунок 5.4.2. – Углеродсодержащие микрочастицы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск): а) сажа; б) угольные частицы; в) энергодисперсионный спектр (метод СЭМ)



Рисунок 5.4.3. – Микрочастицы шлака в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск): а-б) фото; в) энергодисперсионный спектр (метод СЭМ)

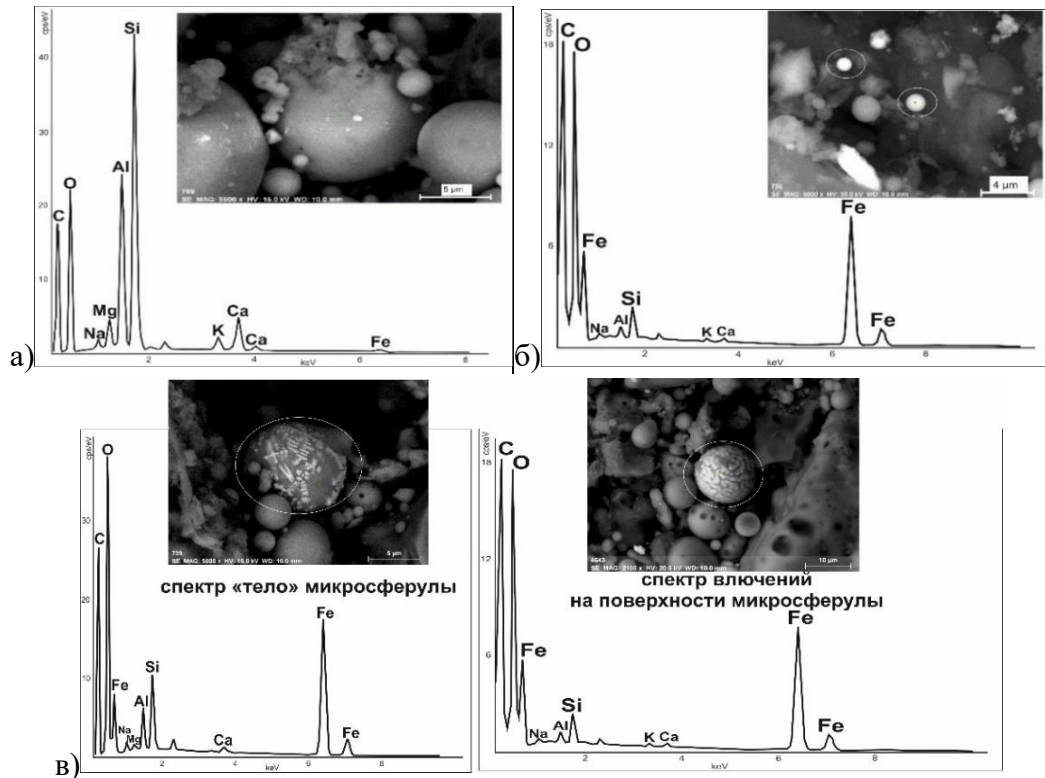


Рисунок 5.4.4. – Микрофотографии микросферул в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики: а) алюмосиликатные; б) железистые (ферросферулы); в) алюмосиликатно-железистые (метод СЭМ)

Четвертый вид – микросферулы редкоземельного состава, среди которых выделяются микросферулы лантан-цериевые (масс. %: La – 21, Се – 17, О – 52) и иттриевые (масс. %: Y – 24,

Ga – 3, Dy – 6, P – 4, O – 35) (рисунок 5.4.7). Данные виды микросферул характерны для нерастворимого осадка снегового покрова в зоны воздействия ТЭС г. Томска, г. Северска и угольных котельных Томской области.

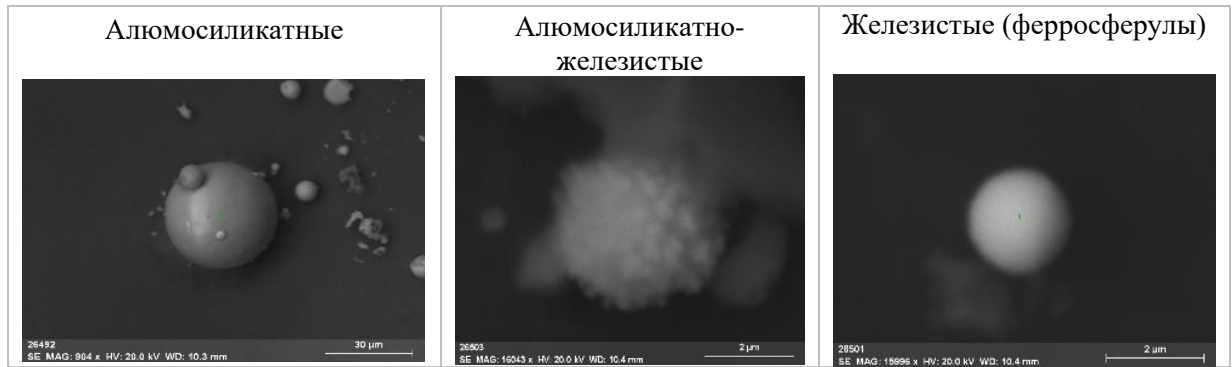


Рисунок 4.4.5. – Микрофотографии микросферул в золе уноса ГРЭС (г. Томск) (метод СЭМ)

Особый интерес в нерастворимом осадке снегового покрова представляет тип «металлосодержащие микрочастицы», близкие по элементному составу к сульфидам, сульфатам и оксидам металлов и металлоидов, фосфатам редкоземельных элементов и интерметаллидам (таблица 5.4.6–5.4.9).

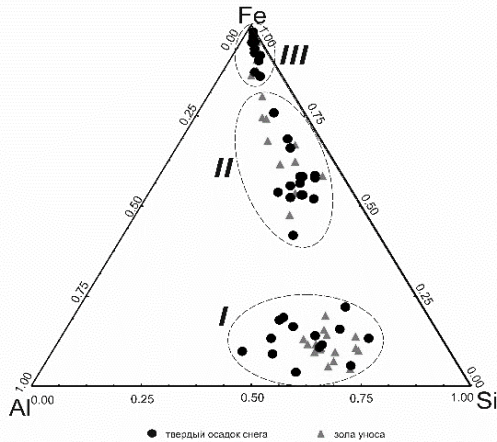


Рисунок 5.4.6. – Тройная диаграмма распределения соотношения масс.% Al, Si, Fe в микросферулах в нерастворимом осадке снегового покрова (кружки) в зоне воздействия ТЭС и золе уноса (треугольники) на примере ГРЭС-2 г. Томска (I – алюмосиликатные микросферулы; II – алюмосиликатно-железистые; III – железистые (ферросферулы); Филимоненко, 2015)

поступление микрочастиц в снеговой покров за счет выбросов от сжигания твердого топлива.

Выделен тип «металл-S (сульфиды)», к которому относятся микрочастицы, содержащие металлы и S, т.е. близкие по составу к сульфидам. Частота встречаемости сульфидов достигает

Элементы-примеси содержатся в углях в микроминеральных, интерметаллических и самородных формах (Кизильштейн и др., 1995; Арбузов и Ершов, 2007; Ильенко, 2013; 2018). В золе уноса металлы сорбируются на твердых частицах менее 2,5 мкм и могут выбрасываться в воздух (Ratafia-Brown, 2004; Юдович и Кетрис, 2005; Vejahati et al., 2010). В твердых выбросах предприятий различных отраслей производства, включая и ТЭС, химические элементы находятся в металлической форме в виде сульфидов, сульфатов, оксидов и других видах (Янин, 2003). На основе наших экспериментальных результатов по изучению микрочастиц в нерастворимом осадке снегового покрова и литературных данных о составе углей можно предположить

10% от общего количества микрочастиц в пробах нерастворимого осадка снегового покрова из районов размещения изучаемых ТЭС (таблица 5.4.6–5.4.9). Определены сульфиды железа, цинка и железа, свинца, мышьяка и железа. Отличительной особенностью нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Юрга является наличие микрочастиц, близких по составу к сульфидам ртути, с размерами около 1 мкм (рисунок 5.4.8).

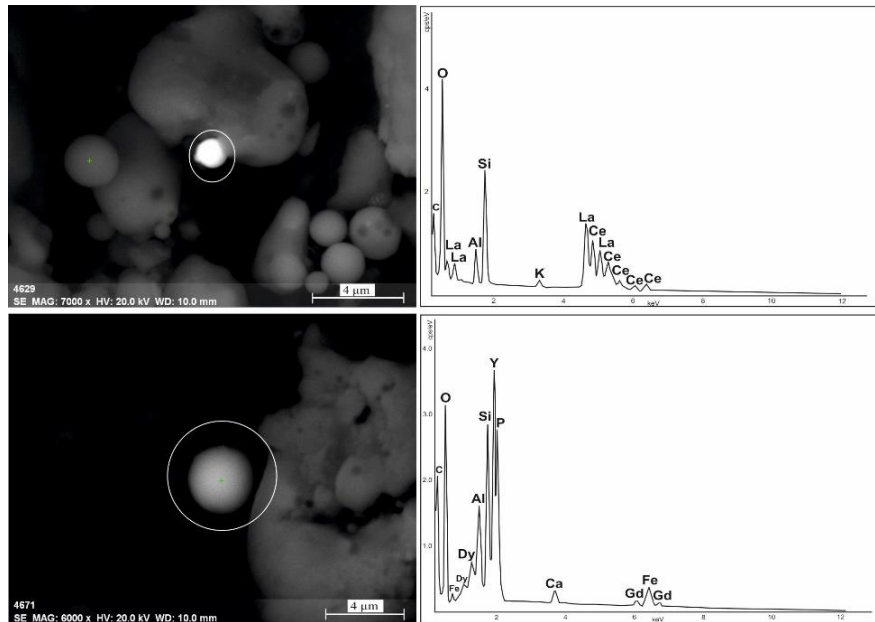


Рисунок 5.4.7. – Микрофотографии и энергодисперсионные спектры микросферул редкоземельного состава (сверху – лантан-цериевые; снизу – иттриевые) в нерастворимом осадке снега в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики г. Томска и г. Северска

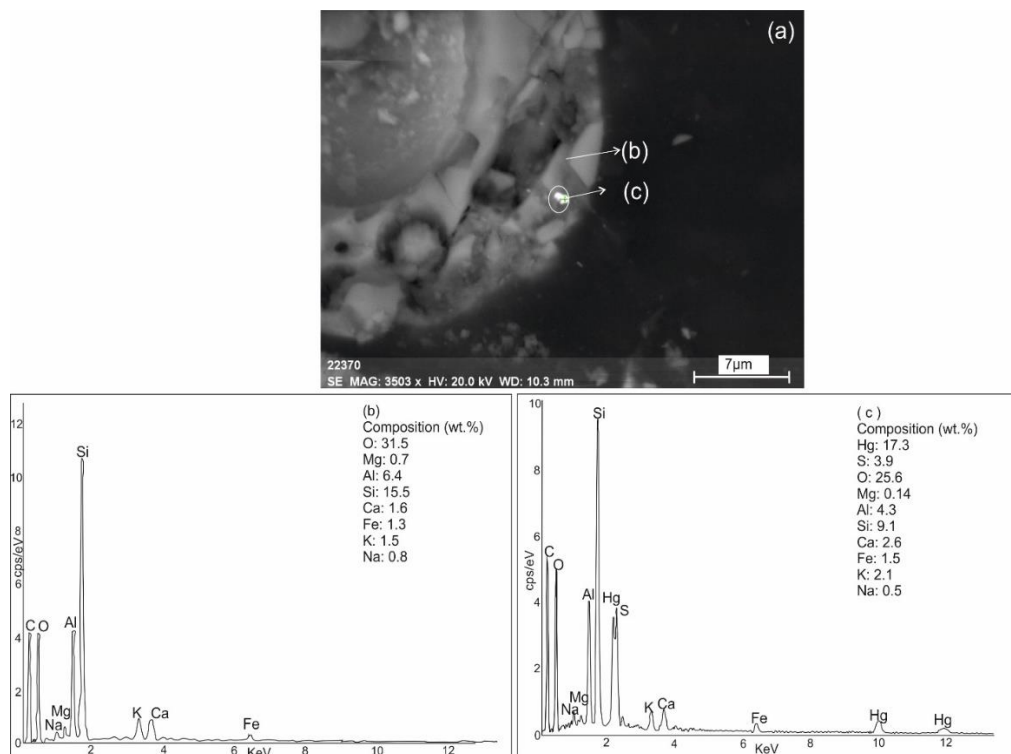


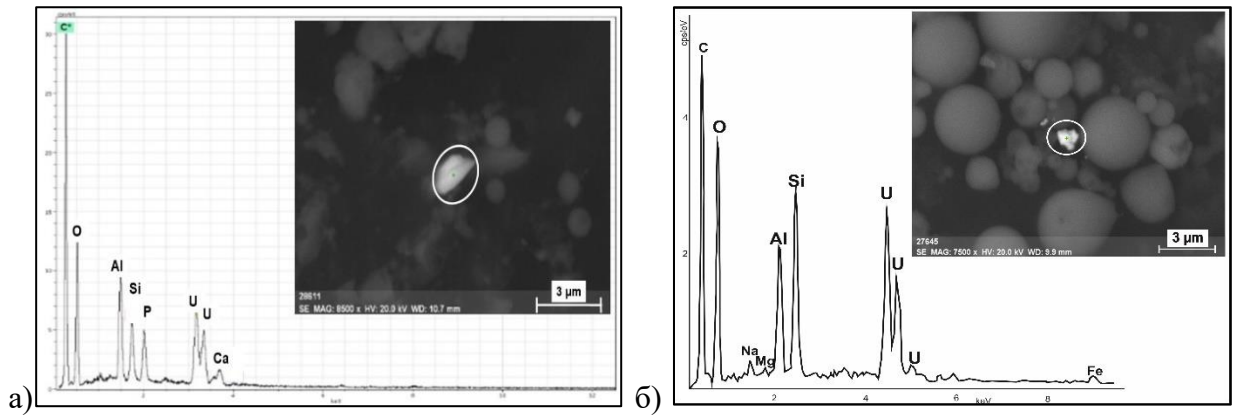
Рисунок 5.4.8. – Металлсодержащая микрочастица, близкая по составу к сульфиду ртути, в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Юрга (метод СЭМ; а – микрофотография; б-с – энергодисперсионные спектры)

К типу «металл-S-O (сульфаты)» отнесены микрочастицы, содержащие S, O и Ba, которые вероятно представлены сульфатам Ba. Эти микрочастицы имеют пластинчатую форму и частоту встречаемости до 10% от общего количества микрочастиц в пробах нерастворимого осадка снегового покрова (таблица 5.4.6–5.4.9). Микрочастицы сульфатов бария нами обнаружены в золе уноса ГРЭС-2, свидетельствуя об их техногенном происхождении – сжигание угля. Согласно литературным данным в составе золы уноса угольных ТЭЦ барий содержится в виде сульфатной (Yossifova et al., 2007) и карбонатной формах проявления (Fruchter et al., 1990). Возможен термический механизм образования сульфатов как из самих сульфатов, так и дисульфидов и сульфорганических соединений в окислительной и восстановительной обстановке во время сжигания углей (Кизильштейн и др., 1995). Содержания Ba выявлены в мелкодисперсных выбрасываемых частицах объектов теплоэнергетики (Bauer, 1988) и атмосферных взвешей в районе расположения объектов сжигания угля (Satsangi и Yadav, 2014).

К типу «металл-O (оксиды)» отнесены микрочастицы, содержащие оксиды Fe, Ba, Ti, Zn, Cu, Bi, Ni, Ag и U с частотой встречаемости более 1% от общего количества микрочастиц в пробах нерастворимого осадка снегового покрова (таблица 5.4.6–5.4.9). В большем процентном составе в нерастворимом осадке снегового покрова содержатся оксиды Fe. Нерастворимый осадок снегового покрова в зоне воздействия ТЭЦ г. Омска и г. Северска отличается присутствием микрочастиц, содержащие оксиды урана, с размерами менее 2,5 мкм (рисунок 4.4.9).

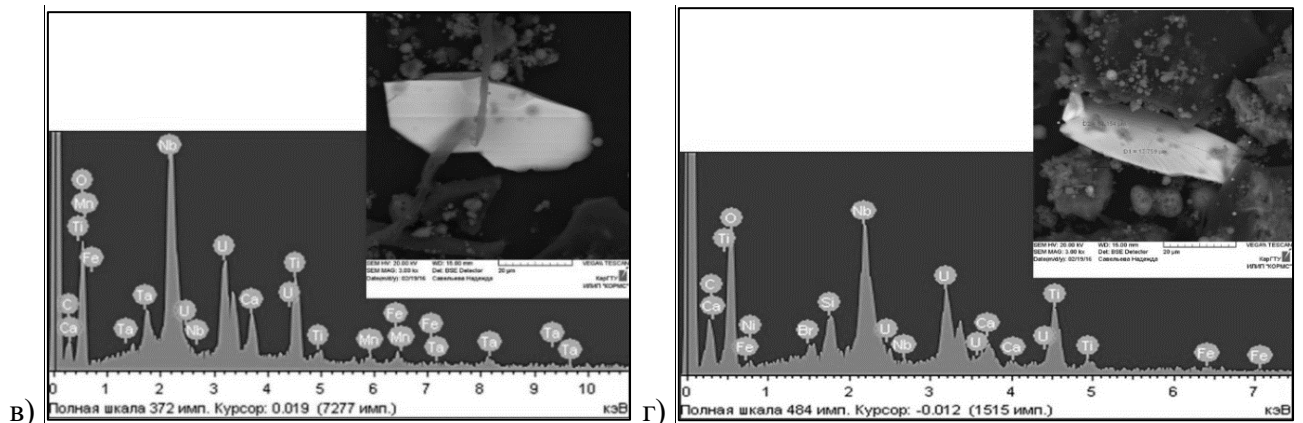
К подтипу «интерметаллические (интерметаллиды)» отнесены бесформенные микрочастицы, различные по составу с комбинациями металлов Fe, Cu, Zn, Pb, Sn, Ti, W, Mn, Cr, Co, Au и Ag (таблица 5.4.6–5.4.8). Частота встречаемости интерметаллидов до 1% от общего количества микрочастиц в пробах нерастворимого осадка снегового покрова.

Выделен тип «микрочастицы, содержащие редкоземельные элементы», которые представлены в виде сферических, как отмечалось выше, и бесформенных частиц с частотой встречаемости до 3% (таблица 5.4.4–5.4.7). В составе микрочастиц обнаружены редкоземельные элементы и фосфор, указывая на то, что данные микрочастицы представляют собой фосфаты редкоземельных элементов. Бесформенные микрочастицы преимущественно содержат такие редкоземельные элементы как Ce, La, Nd и представляют собой цериевые фосфаты, иногда с примесями Th и других редкоземельных элементов, которые присутствуют в пробах из зоны воздействия многих из изучаемых ТЭС (рисунок 5.4.10). Следует отметить, при послойном анализе снежной толщи в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска, микрочастицы цериевых фосфатов обнаружены в крупнозернистом (58–72 см) и среднезернистом (30–58 см) слоях, которые формировались с 20-х чисел октября по 20-числа декабря, в период основного массопереноса вещества со стороны ГРЭС и начала отопительного сезона.



а) средний масс. %: U (29,7), O (39,8), P (3,7), Si (6,1), Al (8,9), Ca (2,8), Fe (1,5); частота встречаемости – 1,3%

б) средний масс. %: U (48,2), O (32,8), Si (9,0), Al (6,9), частота встречаемости – 2,2%



в) средний масс. %: U (22,3), Nb (22,5), Ta (4,7), O (30,3), Ti (9,7), Mn (1,3), Ca (2,4), Fe (1,3), частота встречаемости – 2%

г) средний масс. %: U (18,4), Nb (15,8), Br (1,8), O (37,6), Ti (7,6), Ca (1,3), Si (2,2), частота встречаемости – 2%

Рисунок 5.4.9. – Микрочастицы, содержащие уран, в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС: а) оксиды урана (ТЭЦ г. Омск); б) оксиды урана (ТЭЦ г. Северск); в) микрочастицы сложного уранового и редкоземельного состава (ТЭЦ г. Караганда) (метод сканирующей электронной микроскопии)

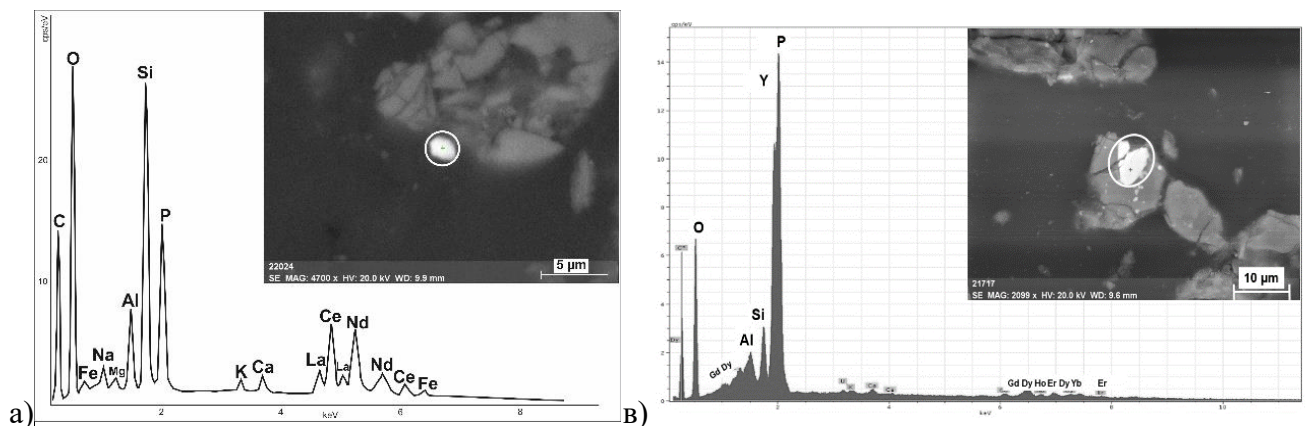


Рисунок 5.4.10. – Микрочастицы, содержащие редкоземельные элементы, в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ТЭС: а) цериевые фосфаты (ГРЭС-2, г. Томск); б) иттриевые фосфаты (ТЭЦ, г. Омск) (метод сканирующей электронной микроскопии)



Нерастворимый осадок снегового покрова из зоны воздействия ТЭЦ г. Омска и г. Северска отличается наличием микрочастиц, содержащие иттриевые фосфаты (таблица 5.4.8, рисунок 5.4.7). Нерастворимый осадок снегового покрова в районе расположения ТЭЦ в г. Караганда характеризуется присутствием микрочастиц сложного уранового и редкоземельного состава (рисунок 5.4.10). Вероятным источником микрочастиц, содержащие редкоземельные элементы, являются пылевые выбросы от сжигания угля, поскольку в золах кузнецких каменных углей марки Д выявлено наличие фаз редкоземельных фосфатов как цериевых, так и иттриевых (Арбузов, 2005; Арбузов и Ершов, 2007). Сферические фазы фосфатов редкоземельных элементов с примесями алюмосиликатов встречаются в углях других бассейнов (Smolka-Danielowska, 2010; Ильенок, 2018), которые в процессе сжигания угля могут поступать в атмосферный воздух.

*Таким образом, в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий теплоэнергетики юга Западной Сибири установлено доминирование техногенных частиц (74–90%) над природными образованиями (10–26%). При этом доля техногенных образований более, чем в 2,5 раза выше фонового уровня. В нерастворимом осадке снегового покрова, формируются техногенные образования, представленные угольными и саже-подобными частицами, золой и шлаком, микросферами различного состава (алюмосиликатные, алюмосиликатно-железистые, железистые, лантан-цериевые и иттриевые), микрофазами муллита, а также микрочастицами, содержащие оксиды урана и редкоземельные элементы (цериевые и иттриевые фосфаты), которые выделены в качестве индикаторов, характеризующие воздействие ТЭС. Показано, что для идентификации источников загрязнения, как сжигание угля, маркерным является отношение муллита/кварц в нерастворимом осадке снегового покрова.*

### **5.5. Многолетняя динамика пылевой нагрузки и гранулометрический состав нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска**

По результатам десятилетнего (2009–2018 гг.) мониторинга в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска прослежена динамика статистически значимого снижения уровня пылевой нагрузки в 3,5 раза в период с 2009 г. по 2018 г. (таблица 5.5.1). В период 2009–2012 гг. формировался средний уровень, тогда как в остальные периоды наблюдений – низкий уровень загрязнения относительно фона. Резкое уменьшение пылевой нагрузки определено с 2010 г. по 2012 г., а в последующие годы (2013–2018 гг.) статистически значимых изменений не наблюдалось. Снижение уровня пылевой нагрузки в среднем на 45% (с 115 до 53 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) с 2009 по 2012 гг. связано с модернизацией золоулавливающих систем на ГРЭС-2 в 2010–2011 гг., что позволило уменьшить объемы выбросов на 150 т/год (Экологический ..., 2011). Выявлена закономерность снижения уровня пылевой нагрузки в зимние сезоны, когда увеличивалось использование природного газа ( $\geq 50\%$ ) в сравнении с долей угля (таблица 5.5.1).

Таблица 5.5.1. – Динамика уровня пылевой нагрузки в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 по данным снеговой съемки в 2005 г. и 2009–2018 гг.

Год	Р <sub>п</sub> , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)			Топливный баланс, %*	
	Среднее	Мин	Макс	Уголь	Природный газ
2005 г.	18,6	12,0	39,0	15,9	84,1
2009 г.	115	52,0	219	36,9	63,1
2010 г.	89,8	53,0	162	41	59
2011 г.	81,9	48,2	131	47,6	52,4
2012 г.	57,1	21,4	97,7	35,2	64,8
2013 г.	44,3	30,7	63,4	48,3	51,7
2014 г.	50,8	27,8	105	65,4	34,6
2015 г.	56,4	23,5	119	58,4	41,6
2016 г.	34,2	20,8	57,3	–	–
2017 г.	42,0	11,8	127	–	–
2018 г.	35,7	17,6	70,2	–	–
Среднее 2009–2018 гг.	55,7	11,8	219	47,5	52,5

\* –данные ГРЭС-2 для зимнего периода; «–» – нет данных; совместные материалы с Филимоненко Е.А.

Дополнительными факторами межгодовых вариаций пылевой нагрузки можно также рассматривать метеопараметры. По данным метеостанции г. Томска зимние сезоны 2011/12, 2015/16 и 2017/18 годов были малоснежными и мощность снегового покрова была небольшая, что могло отразиться на процессах вымывания твердых частиц из атмосферы и как следствие на формировании более низкой пылевой нагрузки в эти сезоны. Методом лазерной дифракции установлено преобладание в свежеснеге крупнодисперсных частиц (100–1000 мкм) в различных районах г. Томска (таблица 5.5.2), что может свидетельствовать о вымывании крупных частиц из атмосферы во время снегопадов. Следовательно, возможно увеличение накопления крупных твердых частиц в снеговом покрове во время снегопадов и уменьшение – в малоснежные периоды. В пробах свежеснега при этом преобладают сферические формы частиц по данным метода лазерной дифракции.

Отмечена закономерность, что при низких температурах в январе величина пылевой нагрузки за весь зимний период выше по сравнению с данными для других годов, когда в январе температура выше. Например, более низкие температуры (-20,2 – -27,5°С) в январе были в 2009, 2010, 2015 гг. по сравнению с температурами в другие годы наблюдения, что могло отразиться на более повышенных величинах пылевой нагрузки в эти сезоны.

Послойный анализ снеговой толщи в зимний сезон 2016/17 гг. показал высокую плотность выпадения твердых частиц в слое 0–30 см, сформировавшегося в период 26.12–23.02, чем в слоях 30–58 и 58–72 см, сформированных 26.11–22.12 и 21.10–25.11, соответственно (рисунок 5.5.1). Высокую плотность в слое 0–30 см можно связать с более пониженным температурным режимом в период его формирования.

Нами наблюдалась тенденция формирования более высоких уровней пылевой нагрузки в январе-феврале во время проведения ежемесячного мониторинга загрязнения снегового покрова

в период 2001–2007 гг. в районе кампуса ТПУ и в пригороде, т.е. в период интенсификации работы предприятий теплоэнергетики и местных котельных (Таловская, 2008).

Таблица 5.5.2. – Диапазон размеров частиц в свежавыпавшем снеге (снеготалая вода) в районах г. Томска, февраль 2016 г. (метод лазерной дифракции)

Точка отбора		Диапазон размеров частиц, мкм					
		1–10	10–50	50–100	100–400	400–700	> 700
Северо-восток от труб ГРЭС-2, км	0,7 км	–	–	–	–	426–623	703–1115
	0,7* км	7,8	–	–	289	509–684	751–1014
	1,3 км	–	–	–	–	409–657	713–1013
	1,6 км	–	–	–	–	421–637	701–1088
100 м от угольного склада ГРЭС-2		2,9–5,2	10,1–21,2	59–224	–	407–679	747–1013
Зона отдыха		–	–	–	–	448–664,8	734,2–1146,5
300 м от границ кирпичного завода		–	–	–	132,7	511–678,3	738,6–1050
Перекрёсток		–	–	–	364,7	514–694,6	749,3–982,5

\* – отбор на всю глубину снегового покрова; «–» – не обнаружено;

Совместно с сотрудниками ИОА СО РАН по результатам ежемесячных наблюдений в зимние сезоны 2005/06 гг. и 2006/07 гг. в Академгородке также выявлена более высокая пылевая нагрузка в январе, чем в другие зимние месяцы. Результаты согласуются с наблюдениями за концентрациями сажи и аэрозоля в воздухе на станции ИОА СО РАН. Максимальные концентрации этих веществ также приходились на январь (Таловская и др., 2007).

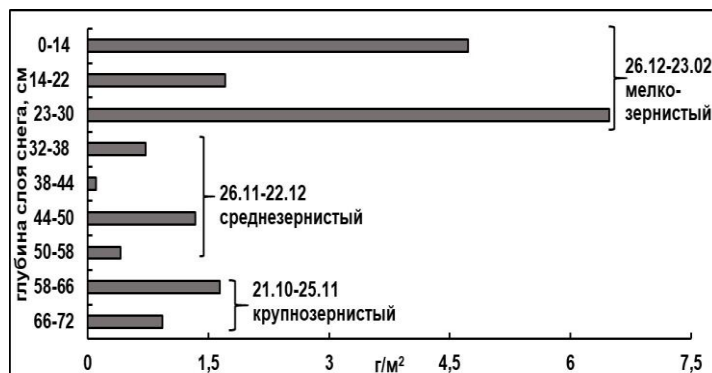


Рисунок 5.5.1. – Распределение плотности выпадений твердых частиц в слоях снеговой толщи с учетом даты формирования слоев (0,7 км от труб ГРЭС-2; зимний сезон 2016/17 гг.)

Уменьшение доли повторяемости юго-западных ветров до 11% в зимние сезоны с 2011/2012 по 2015/2016 гг., вероятно отразилось на уменьшении объёмов массопереноса загрязняющих веществ в северо-восточном направлении от ГРЭС-2. Учитывая эти факты, с 2015 г. по 2018 г. отбор проб снегового покрова осуществлялся также в северном направлении от ГРЭС-2. Сравнительный анализ показал, что величина пылевой нагрузки в 1,5–2 раза выше в северной, чем в северо-восточной зоне воздействия ГРЭС-2. Это может быть связано не только с изменением структуры ветров, но с условиями искусственного рельефа, поскольку высота зданий существенно меняет условия рассеивания примесей, в частности, в северо-восточной зоне размещены в основном средне-и высокоэтажные здания, а в северной – средние и низко-этажные здания, включая частный сектор, который также является локальным источником загрязнения.

В период десятилетнего мониторинга нами выявлен максимальный уровень пылевой нагрузки на расстоянии 0,73–1,0 км в северо-восточном и 0,6–1,4 км в северном направлении от труб ГРЭС-2, а минимальные – на дистанции 1,3–2,0 и 1,6–2,1 км, соответственно (рисунок 5.5.2). Данная закономерность была подтверждена численным восстановлением выпадения пылевых частиц в снеговой покров в северо-восточном направлении, используя математическую монодисперсную модель реконструкции полей выпадений аэрозолей совместно с сотрудниками ИВМиМГ СО РАН (Таловская и др., 2013).

В ближней зоне (0,73–1,3 км) воздействия ГРЭС-2 в свежевыпавшем снеге в основном находятся крупные частицы (400–700 и более 700 мкм) (таблица 5.5.2). Эти результаты соотносятся с данными для угольной ТЭЦ г. Владивостока, вблизи которой в свежевыпавшем снеге крупные частицы составляли 100% от пробы (Голохваст, 2014). Но при анализе проб, отобранных на всю глубину снегового покрова, т.е. за весь зимний сезон, в снеговой воде нами определено содержание как крупнодисперсных, так и мелкодисперсных частиц (до 10 мкм), что указывает на высокую информативность исследования состава твердых частиц, осевших в снеговой покров, в течение всего зимнего сезона (таблица 5.5.2, рисунок 5.5.3).

*Гранулометрический анализ* нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 показывает уменьшение среднего размера частиц от 17 до 4,2 мкм по мере удаления в северо-восточном направлении на расстоянии от 0,73 до 2,0 км, соответственно (рисунок 5.5.2). Пространственная закономерность распределения обусловлена заметным снижением доли крупной фракции 50–300 мкм (от 22 до 6,8%) и возрастанием содержания мелкой фракции <1 мкм (от 5,6 до 30%) и 1–10 мкм (от 18,3 до 28,2%) с увеличением расстояния от труб. В пробах при этом доля крупной фракции 10–50 мкм в пространстве не изменяется (от 54,2 до 49,5%).

По результатам детального изучения 300 частиц в пробах нерастворимого осадка снегового покрова на сканирующем электронном микроскопе в ручном режиме выделены мелкие и крупные фракции частиц, из которых 55% всех изученных микрочастиц имеют размеры от 2,5 до 10 мкм (PM10), тогда как 15% – менее 2,5 мкм (PM2,5), которые будучи взвешенными в воздухе, могли бы проникать в респираторную систему человека (Talovskaya et al., 2018). Микрочастицы с размерами <10 мкм осаждаются в верхних и нижних дыхательных путях, а с размерами <2,5 мкм – в альвеолах и проникают в кровоток (Величковский, 2002; Pope и Dockery, 2006).

В нерастворимом осадке снегового покрова PM10 представлены угольными и шлаковыми частицами, минеральными образованиями, а PM10 и PM2,5 – микросферами различного состава (диаметр 0,5–45 мкм), металлосодержащими микрочастицами, близкие по составу к сульфидам (1,7–12 мкм), сульфатам (3,6–26 мкм), оксидам (1,9–97,5 мкм) металлов и металлоидов, интерметаллидам (0,9–5,6 мкм) и цериевым фосфатам (1,9 мкм) (таблица 5.4.5–5.4.7).

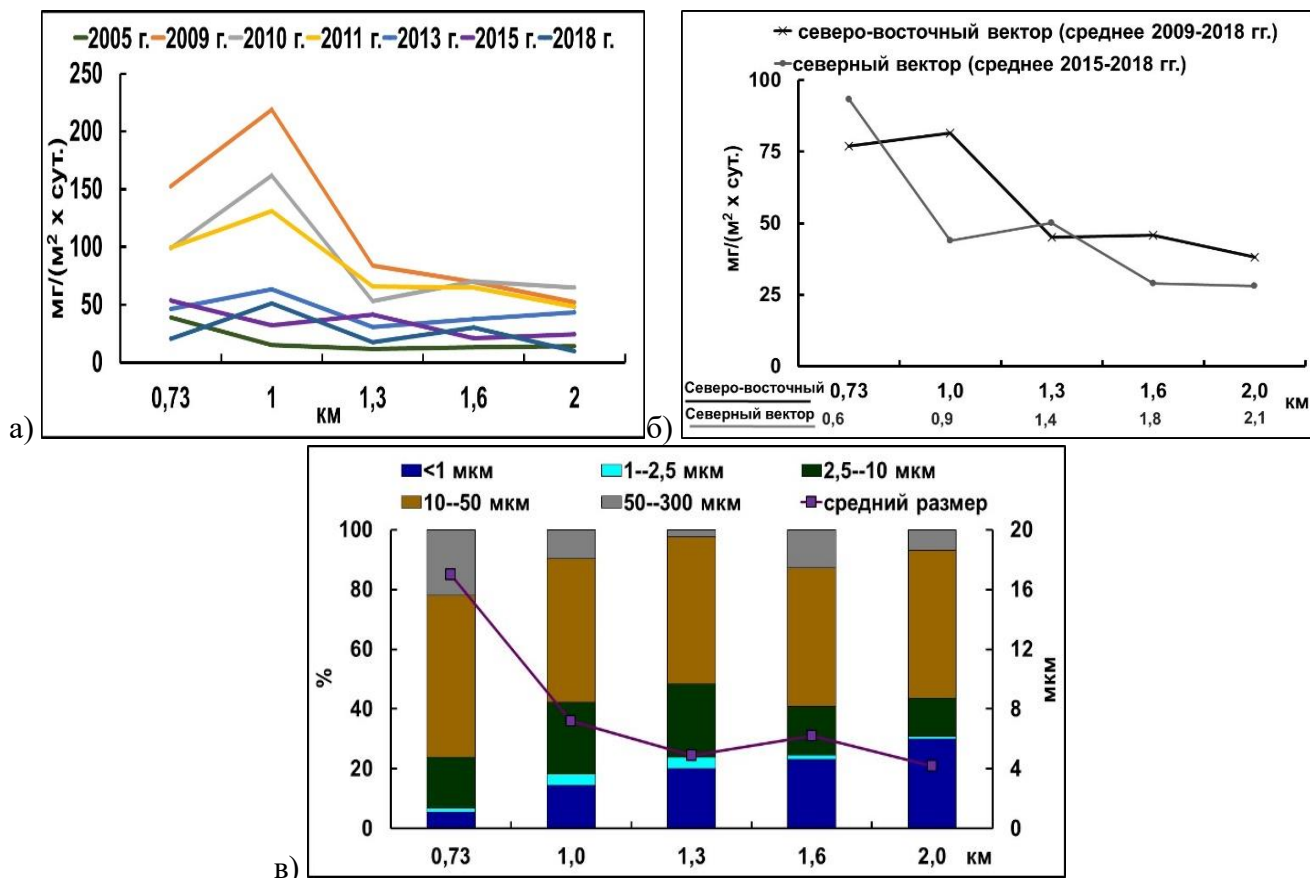


Рисунок 5.5.2 – Распределение пылевой нагрузки (а-б) и гранулометрических фракций частиц (в) в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия Томской ГРЭС-2

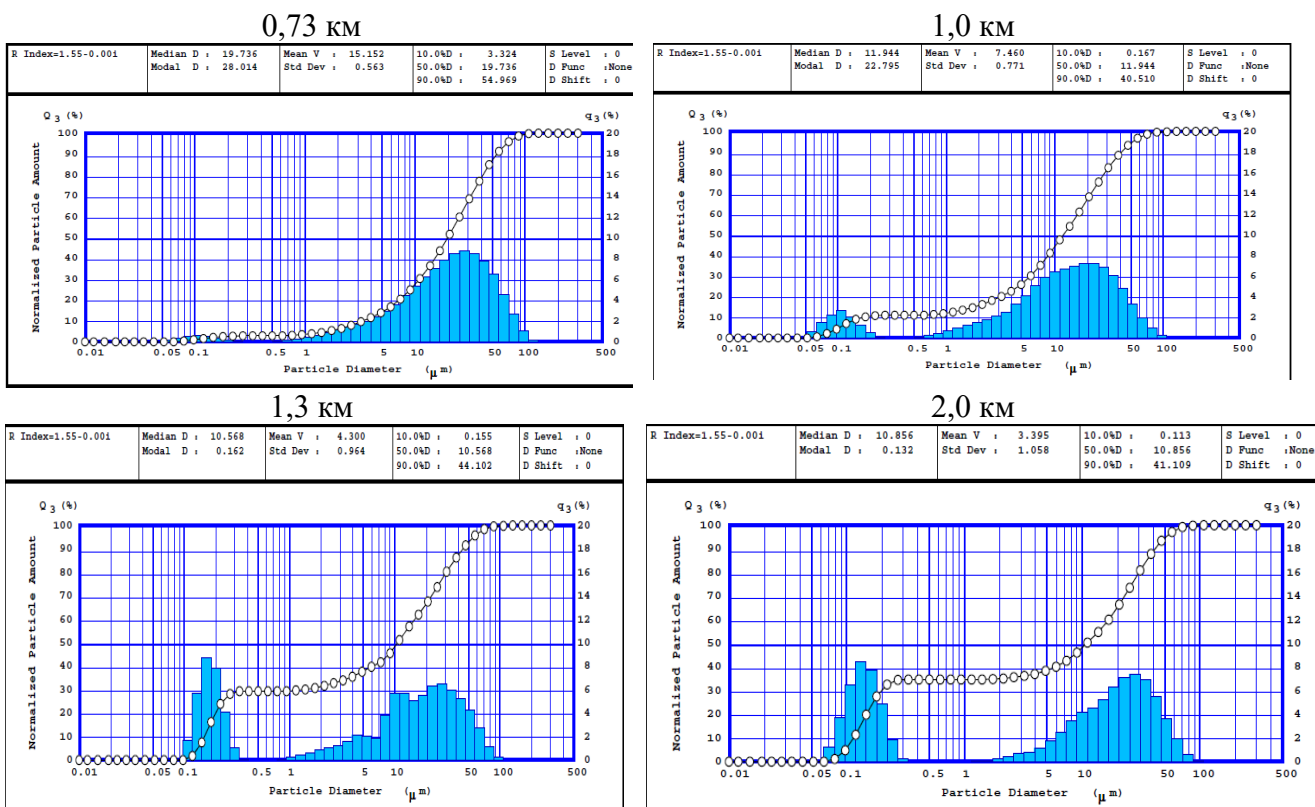


Рисунок 5.5.3. – Распределение гранулометрических фракций частиц в нерастворимом осадке снегового покрова по мере удаления от Томской ГРЭС-2 в северо-восточном направлении (метод лазерной дифракции)

Следует отметить, что выявлены близкие по морфологии и элементному составу микрочастицы с размерами от 0,4 до 4 мкм (силикаты, алюмосиликаты, сульфаты, сульфиды, оксиды металлов и металлоидов, алюмосиликатные и железистые микросферулы) как в аэрозолях, собранных на фильтры, так и в нерастворимом осадке снегового покрова в районе станции ИОА СО РАН в Академгородке г. Томска (Таловская и др., 2014). Полученные результаты свидетельствуют о процессах осаждения микрочастиц различного размера из атмосферного воздуха в снеговой покров, которые формируют пылевую нагрузку.

*Таким образом, по данным многолетнего мониторинга (2005 г., 2009–2018 гг.) в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска выявлены межгодовые вариации пылевой нагрузки, связанные с изменением топливного баланса, модернизацией золоулавливающей системы и отдельными метеопараметрами. В период наблюдений по мере удаления от источника выбросов сохраняется формирование более высокой пылевой нагрузки (44–93, среднее: 79 мг/(м<sup>2</sup> сут.)) в ближней зоне воздействия (до 1,3 км), а в дальней (1,3–2 км) зоне пылевая нагрузка снижается (28–50, среднее: 43 мг/(м<sup>2</sup> сут.)). Выявленная закономерность подтверждается результатами математического моделирования. Распределение пылевой нагрузки по мере удаления от ГРЭС-2 связано с гранулометрическим составом нерастворимого осадка снегового покрова. На расстоянии до 1,3 км в пробах преобладает крупная фракция частиц (2,5–50 мкм – 36% и 50–300 мкм – 16%), а в пределах 1,3–2 км увеличивается доля мелкой фракции (<1–2,5 мкм – 13%). Гранулометрические фракции представлены микросферулами различного состава, сульфидам, сульфатам, оксидам металлов и металлоидов, интерметаллидам и цериевым фосфатам.*

#### **5.6. Многолетняя динамика формирования геохимических особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска**

Уровни содержания тяжелых металлов, редкоземельных, радиоактивных и других редких элементов в нерастворимом осадке снегового покрова статистически значимо (тест Краскела-Уоллиса) не изменяются с 2009 по 2018 гг., указывая на единый источник их поступления (таблица 5.6.1). В тоже время, отмечается тенденция более низкого содержания большинства изучаемых химических элементов в пробах, отобранных в зимний сезон 2017/18 года. В период десятилетнего мониторинга сохранялся средний уровень загрязнения с умеренно-опасной экологической ситуацией по градации Z<sub>c</sub>.

По данным мониторинга определена тенденция статистически значимого увеличения содержания Hg и Br в пробах в периоды использования на ГРЭС-2 природного газа более 50% (2009–2013 гг.), Zn – угля более 60% (2014–2015 гг.). Уровни концентрации химических элементов в пробах, в т.ч. редкоземельных и радиоактивных элементов (таблица 5.6.1), обусловлены долей угля в топливном балансе на ГРЭС-2 (рисунок 5.5.2). Выявлены повышенные уровни концентрации As, Zn, Ba, Sr, U, Th, Hf, Ta, лантаноидов (La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu)

относительно фона в твердом осадке снегового покрова в период использования угля более 35% (2009–2015 гг.) в сравнении с данными для 2005 г., когда баланс угля составлял 16%.

Таблица 5.6.1. – Динамика средних уровней содержания 28 элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 (2009–2018 гг.)

Элемент, мг/кг	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
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
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
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
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
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
Zn	519±96	652±173	421±131	589±96	1797±479	1987±522
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
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
Cr	101±13	111±10	94±9	89±6	101±12	80±6
Ba	1960±250	656±31	664±55	834±135	939±83	796±13
Sr	360±49	275±22	322±26	428±44	562±93	491±31
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
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
Rb	47±6	52±1	48±3	51±2	60±4	41±9
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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	1,9	2,2	2,1	2,2	2,3	2,1
La+Ce/Yb+Lu	50,5	54,2	60,2	64,2	55,8	33,0
Z <sub>c</sub>	106	104	94	112	120	113
Кол-во проб	5	5	5	5	5	5

метод ИНАА, Hg – ААСМ; фон\* – Шатилов, 2001; Язиков, 2006; фон для As, Hg, Zn, Nd – данные автора (Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН); \*\* – Таловская, 2008; совместные данные с Филимоненко Е.А.

В почво-грунтах Советского района г. Томска, где расположена ГРЭС-2, выявлено превышение содержания Tb, Br, Sb, U, Ta над фоном от 5 до 7,5 раз, Ca, Rb, Ba, Cs, Yb, Cr, Fe, Lu, Na – от 2 до 5 раз (Жорняк, 2009; Язиков и др., 2010). В грудном молоке женщин, проживающих в Советском районе, выявлено избыточное содержание Cr, Co, Zn, As, Hg (Барановская, 2011). Схожая геохимическая специализация почво-грунтов и нерастворимого осадка снегового покрова на отдельный спектр элементов может указывать на влияние постоянного источника в районе мониторинга.

Уровни среднесуточного выпадения 28 химических элементов на снеговой покров в зоне воздействия ГРЭС-2 имеют очень большой диапазон и по статистическим показателям характеризуются крайне неравномерным распределением (таблица 5.6.2). Прослежена динамика снижения уровней среднесуточного выпадения изучаемого спектра химических элементов на снеговой покров с 2009 г. по 2012 г. относительно фона с сохранением данной тенденции в последующие периоды наблюдений (таблица 5.6.2).

Таблица 5.6.1. (Окончание)

Элемент, мг/кг	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Фон*	Среднее г.Томск, 2007г.**
Na, %	0,9±0,03	0,7±0,04	0,5±0,04	0,4±0,04	0,2	0,7±0,03
Ca, %	1,7±0,07	2,0±0,08	1,8±0,1	1,2±0,1	0,8	1,2±0,05
Fe, %	4,0±0,2	3,6±0,2	3,0±0,2	2,3±0,2	1,9	2,7±0,1
Hg	0,142±0,02	0,194±0,01	0,134±0,02	0,138±0,01	0,1	0,34±0,02
As	17,7±2,3	13,4±1,2	9,9±1,0	7,2±1,1	18,6	3,8±0,7
Zn	1879±584	486±35,9	586±263	280±41,1	139,5	н.о.
Sb	6,0±0,6	6,1±0,6	3,6±0,4	3,7±0,6	2,3	6,8±0,5
Co	18,2±1,1	19,8±1,2	15,9±1,3	13,0±1,2	10,3	13,6±0,5
Cr	152±33,2	100±5,7	99,5±9,7	74,2±9,9	110	98,5±4
Ba	1335±293	1032±77,9	1130±326	686±63,1	100	858±66
Sr	537±143	528±27,4	510±41,1	282±71,7	100	178±27,2
Sc	9,0±0,3	11,0±0,6	8,7±0,7	7,5±0,7	7,1	8,6±0,3
Br	0,4±0,1	3,4±0,3	4,2±0,3	2,2±0,4	2,9	12,1±1,1
Rb	48,5±1,7	51,7±4,1	45,9±3,7	47,6±2,7	55	47±1,7
Cs	2,9±0,2	3,9±0,2	3,1±0,3	3,3±0,4	3,5	3,4±0,1
La	29,1±1,1	36,0±2,1	28,2±2,7	20,8±2,4	2,8	25,2±0,8
Hf	4,7±0,2	5,2±0,3	5,5±0,9	4,0±0,4	2,2	4,7±0,2
Au	0,002	0,001	0,019	0,057	0,2	0,1±0,01
Ce	58,8±2,8	67,5±2,5	57,5±4,8	47,8±4,2	10,3	57±1,8
Nd	24,3±0,9	22,5±1,6	22,8±2,4	19,9±3,8	14,9	н.о.
Ta	0,7±0,05	1,0±0,09	1,0±0,09	0,4±0,1	0,2	0,8±0,03
Sm	4,3±0,2	5,2±0,3	4,7±0,4	3,8±0,4	0,6	4,3±0,2
Eu	1,0±0,03	1,3±0,08	0,9±0,1	0,7±0,09	1,1	1,2±0,2
Tb	0,5±0,03	0,7±0,06	0,6±0,07	0,6±0,08	0,06	0,7±0,03
Yb	2,3±0,2	2,7±0,1	2,5±0,2	1,9±0,2	0,2	1,9±0,1
Lu	0,3±0,01	0,4±0,02	0,3±0,02	0,3±0,02	0,2	0,3±0,01
Th	7,0±0,4	8,4±0,5	7,4±0,6	6,3±0,7	2,9	6,7±0,2
U	3,2±0,2	4,1±0,3	4,3±0,4	3,7±0,7	0,2	2,8±0,1
Th/U	2,2	2,0	1,7	1,7	14,5	2,4
La+Ce/Yb+Lu	33,4	33,9	30,8	31,9	37,4	36,0
Z <sub>c</sub>	102	106	95	66	-	93
Кол-во проб	10	10	10	10	-	69

Выявленные временные закономерности являются схожими с характером распределения пылевой нагрузки по годам. Во время наблюдений определены также статистически значимо низкие уровни выпадений большинства изучаемых редких элементов в 2017 г. и 2018 г., чем в другие годы, что обусловлено низкими уровнями пылевой нагрузки и содержаниями данных элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в эти периоды наблюдений.



По данным мониторинга высокие уровни среднесуточного выпадения элементов на снеговой покров определены в условно ближней зоне воздействия ГРЭС-2 – на расстоянии от 0,73 до 1,0 км в северо-восточном и от 0,6 до 1,4 км в северном направлении, что согласуется с характером распределения пылевой нагрузки.

В период с 2009 г. по 2012 г. уровни среднесуточного выпадения химических элементов на снеговой покров формируют средний уровень загрязнения и умеренно-опасную экологическую ситуацию, тогда как в последующие годы (2013–2018 гг.) уровень загрязнения изменился на низкий с неопасной ситуацией по значениям  $Z_p$  (таблица 5.6.2).

Таблица 5.6.2. – Динамика средних уровней  $K_p$  и  $Z_p$  в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 по данным снеговой съемки в 2005 г. и в период 2009–2018 гг.

Эл-т	2005 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее (2009- 2018 гг.)
Na	13,2	90,1	59,1	52,3	40,7	29,7	34,5	47,6	22,2	17,3	10,9	40,4
Ca	5,0	27,6	21,2	19,1	18,1	13,6	15,8	17,1	11,8	11,8	6,1	16,2
Fe	6,1	4,8	2,7	2,1	1,8	1,1	1,4	1,7	0,9	0,9	0,6	1,8
Hg	н.о.	17,6	12,9	17,7	10,9	12,8	7,2	5,6	5,5	4,0	3,6	9,8
As	0,3	12,4	8,5	5,3	9,8	6,5	8,0	7,5	3,8	3,1	1,9	6,7
Zn	н.о.	75,2	60,5	34,2	35,1	85,1	96,7	97,9	19,2	33,9	9,5	54,7
Sb	6,2	44,3	30,8	13,1	18,8	16,0	14,0	19,1	12,9	8,2	6,2	18,3
Co	4,7	27,8	22,7	22,7	15,3	10,5	12,5	13,5	9,2	7,9	5,5	14,7
Cr	2,8	16,2	12,7	10,3	6,3	6,1	5,0	11,2	4,3	4,9	2,8	8,0
Ba	18,5	208	75,1	72,5	54,9	52,6	52,1	104	44,7	44,6	27,2	73,5
Sr	5,3	67,4	35,6	38,2	31,8	34,0	33,2	42,3	25,5	26,6	11,8	34,6
Sc	3,6	23,6	18,7	18,0	12,3	8,9	9,9	9,8	7,4	6,2	4,6	11,9
Br	8,8	45,2	22,6	22,6	10,3	10,6	7,4	1,1	5,7	8,0	3,2	13,7
Rb	2,6	15,9	12,0	10,3	7,3	6,8	5,9	7,1	4,5	4,2	3,9	7,8
Cs	2,1	18,2	12,6	11,0	8,2	5,7	6,5	6,6	5,3	4,6	4,0	8,3
La	21,2	210	150	140	102	73,6	84,3	80	61,4	50,1	31,3	98,2
Hf	6,5	44,9	32,8	29,1	22,4	16,3	16,1	16,4	11,4	14,7	7,8	21,2
Au	0,9	6,6	2,2	1,8	0,6	1,3	0,8	0,05	0,01	0,6	1,0	1,5
Ce	14,5	112	70,3	75	58	49,4	46,9	44,2	31,5	28,1	19,9	53,5
Nd	н.о.	39,5	26,8	21,4	17,5	15,2	13,8	15,4	8,8	9,0	7,2	17,5
Ta	19,3	189	126	106	72,7	64,3	78,6	52,7	48	50,3	13,8	80,2
Sm	20,6	165	114	109	73,8	56,4	65,6	59,1	43,6	41,6	28,2	75,7
Eu	3,1	17,2	14,5	14,4	7,3	6,8	7,1	6,8	5,5	4,1	2,8	8,7
Tb	31,9	242	183	176	94,1	93,1	111	75,4	61	51,7	45,8	113
Yb	23,8	239	187	156	112	83,9	99,4	86,8	64,2	62,7	40,8	113
Lu	8,2	88,0	66,9	62,4	43,4	32	37	32,6	25,6	22,5	15,3	42,6
Th	7,1	52,4	38,4	32,1	23,7	18,6	20,5	18,9	13,8	12,9	9,3	24,1
U	43,6	384	252	215	156	115	136	129	99	107	77,5	167
$Z_p$	253	2457	1645	1460	1038	899	1000	984	631	615	376	1110

В течение многолетнего периода сохраняется формирование *техногенной геохимической специализации* нерастворимого осадка снегового покрова на U, Yb, Tb, La, Ba, Sm, Zn, Ce, Ta, Na, Sr, Th, Hg, Hf, Lu, Sb, Fe, Ca, Co, Nd, Br, Sc относительно фона и среднегородских уровней накопления в пробах. Кластерный анализ выделил 8 значимых *геохимических ассоциаций*

*химических элементов* в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 в течение всего периода наблюдений: Nd-U-Cs; Th-Ta; Eu-Th-Sm-Yb-La-Lu-Sc-Co; Rb-Ce-Ca; Hg-Br-Hf; Au-Fe; Sr-Ba-Cr; Zn-Sb-As-Na (рисунок 5.3.2). Значимые 92 взаимосвязи между элементами в пробах находятся в пределах значений коэффициентов корреляции от 0,27 до 0,95.

С помощью факторного анализа (метод главных компонент) выделено 6 факторов в зоне воздействия ГРЭС-2, действия которых в сумме объединяет 77 % общей дисперсии содержания химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова в период с 2009 г. по 2018 г. Доминирующим фактором является *фактор 1*, обуславливающий 44,6% дисперсии, и объединяющий группу редкоземельных (Sc, La, Ce, Nd, Ta, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu), радиоактивных элементов (U, Th), Rb, Cs, и Co. *Фактор 2* отвечает за 10,1 % дисперсии, к которому тяготеют Na и As, Sb, Zn. Нагрузка Fe и Au высокая в *факторе 3*; Cr, Ba – в *факторе 4*; Ca, Ba, Sr как элементы с близким геохимическим поведением – в *факторе 6*. *Фактор 5*, объединяющий Hg, Br, Ta, Hf и обуславливающий 4,2% дисперсии. Элементы, коррелирующие с данными факторами, вероятнее всего привносятся с твердыми выбросами от сжигания топлива, которые осаждаются в снеговой покров. Как отмечалось выше, кузнецкие угли, которые используются на ГРЭС-2, имеют редкометалльную геохимическую специализацию (Редкие ..., 2000; Арбузов, 2005). Кроме того, нами установлены близкие уровни концентрации изучаемого спектра элементов в твердом осадке снегового покрова из зоны воздействия ГРЭС-2 и в золе уноса этой ТЭС (рисунок 5.3.13–5.3.14).

В следовых количествах Hg содержится в природном газе (Рыжов и др., 1998), шлейфах газовых факелов нефтяных месторождений (Симоненков, 2015) и кузнецких углях (Белая и др., 2015; Osipova et al., 2019). Парогазовые формы Hg и Вг в воздухе могут связываться с твердыми частицами, преобразовываться за счет различных физико-химических процессов и затем оседать в снеговой покров. Так, в результате фотохимических реакций в атмосфере Hg сорбируется на аэрозольных твердых частицах размером <0,4 мкм (Гладышев, 2000). Доказательством поступления ртути в составе твердых частиц является выявленная нами прямая корреляционная зависимость между содержанием ртути в твердом осадке снегового покрова и величиной пылевой нагрузки ( $r=0,70-0,88$ ,  $P=0,95$ ) в зоне воздействия ГРЭС-2. В твердом осадке снегового покрова при этом Hg в основном находится в изоморфной (39%), физически связанной (33%) и свободной форме (29%) (Филимоненко и др., 2013). Контрастные геохимические ореолы Hg ранее были зафиксированы в нерастворимом осадке снегового покрова (Таловская и др., 2012; Ляпина, 2012), атмосферном воздухе и почвах (Рихванов и др., 2010; Ляпина, 2012; 2020) в районе расположения ГРЭС-2.

Установлено неравномерное распределение редкоземельных элементов, урана и тория по мере удаления от труб ГРЭС-2 (0,73–2,0 км) в различные периоды наблюдения (рисунок 5.6.1).

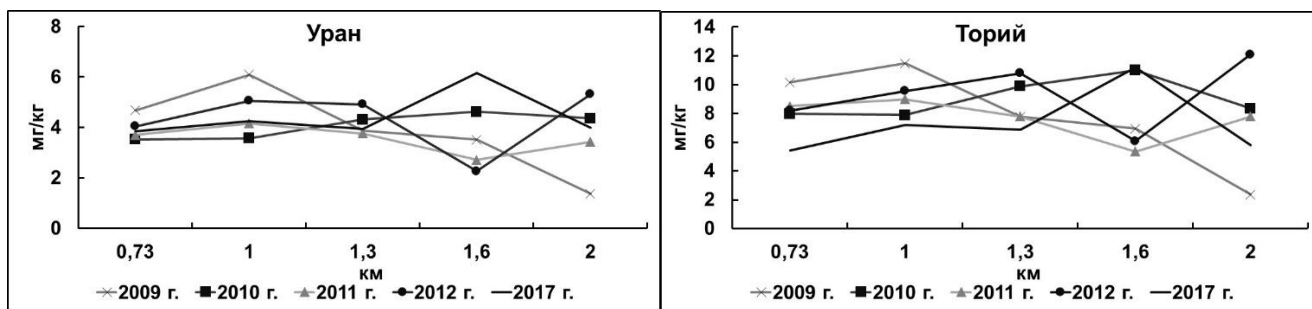


Рисунок 5.6.1. – Динамика распределения уровней содержания урана и тория в нерастворимом осадке снегового покрова по мере удаления от Томской ГРЭС-2

Например, в 2009 г. отчетливо прослеживается тенденция убывания уровней концентрации U, Th в пробах по мере удаления от ГРЭС-2 в северо-восточном направлении. В 2010 г. зафиксировано увеличение содержания этих элементов в пробах из условно дальней зоны воздействия (1,6 – 2,0 км) на 20–30 % по сравнению с таковыми в ближней зоне. В зимние сезоны 2011 г. и 2012 г. на расстоянии от 0,73 до 1,3 км от труб ГРЭС-2 распределение U, Th в нерастворимом осадке снегового покрова существенно не изменяется; на удалении от труб на 1,6 км происходит снижение содержания U, Th в нерастворимом осадке снегового покрова на 30–50%, с последующим пиком содержаний на расстоянии 2,0 км, что может быть связано с дополнительным локальным источником этих элементов. Выявленная тенденция была подтверждена математическим моделированием в виде численного восстановленные полей выпадений урана и тория в составе твердых аэрозольных частиц в снеговой покров (рисунок 5.6.2) совместно с сотрудниками ИВМиМГ СО РАН (Таловская и др., 2013).

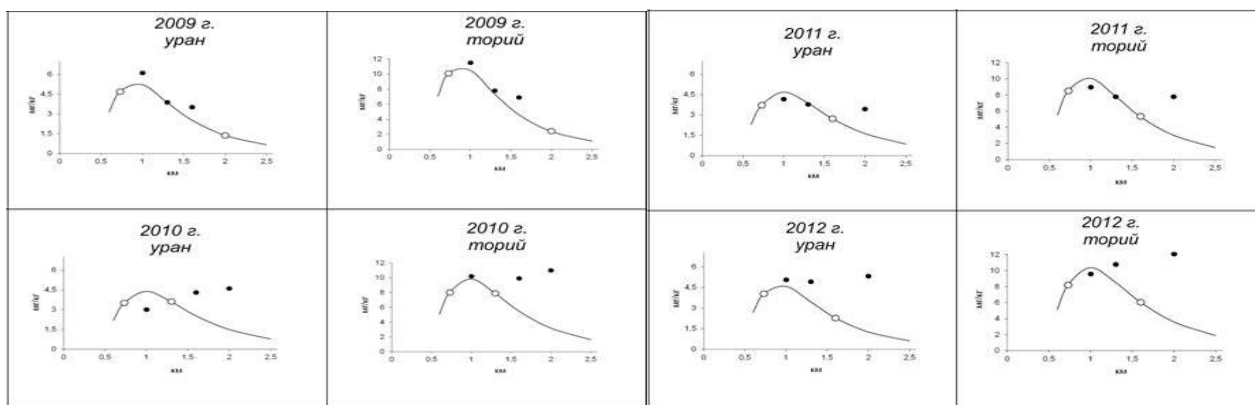


Рисунок 5.6.1. – Численно-восстановленные поля выпадений в снеговой покров урана и тория (мг/кг) по данным экспериментальных наблюдений в северо-восточном направлении от Томской ГРЭС-2 (— – результат численного моделирования, ○, ● – опорные (белые) и экспериментальные (черные) точки измерений) (Таловская, Рапута и др., 2013)

В нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия ГРЭС-2 выявлено, что уран и трансурановые элементы в основном находятся в молекулярно-рассеянной форме по данным метода f-радиографии (таблица 5.6.3). Но в тоже время, плотность равномерного распределения треков от осколков деления урана и трансурановых элементов в 5 раз выше фона, а также в 2–3 раза выше, чем в пробах из других районов г. Томска.

Таблица 5.6.3. – Характер распределения и плотность треков от осколков деления урана и трансураниевых элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 и в других районах г. Томска

Район отбора проб	Характер распределения треков				
	Равномерный		Содержание эквив. урана, мг/кг	Неравномерный (сгустки треков и «звезды»)	
	Плотность треков в пробе, трек/мм <sup>2</sup>	Плотность треков в эталоне, трек/мм <sup>2</sup>		Плотность звезд, «звезда»/см <sup>2</sup>	Плотность скоплений, скопление/см <sup>2</sup>
Условно фоновый район					
Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН	1146±281	3077±546	2,7	0	0
г. Томск					
<b>Томская ГРЭС-2</b>	<b>5788±538</b>	<b>6800±369</b>	<b>6,2</b>	<b>0</b>	<b>0,3</b>
Производство электрических двигателей	1792±577	3604±769	3,6	0	0,4
Академгородок	5815±604	5262±1208	8	0	0
мк-н Солнечный	2046±354	2665±246	5,6	2,1	0,5
учебные корпуса ТПУ	1847±431	2431±119	5,5	7,7	4

по результатам анализа проб методом f-радиографии

В нерастворимом осадке снегового покрова изотопы <sup>238</sup>U и <sup>235</sup>U преимущественно связаны с гидроксидами Fe и Mn (44,0 и 43,2 %, соответственно), а также присутствуют в труднорастворимой форме (29,4 и 32,2%); немного более 10% приходится на карбонатные и органические формы (таблица 5.6.4). Органическое вещество является основным носителем урана, также могут встречаться минеральные формы нахождения урана в углях (Арбузов, 2005).

Таблица 5.6.4. – Формы нахождения изотопов урана (<sup>238</sup>U и <sup>235</sup>U) в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 и золе уноса

Проба	Форма нахождения	Водорастворимая		Сорбированная		Связанная с карбонатами	
	Экстрагент	Milli-Q water		1 М CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> (pH 7)		1 М CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> (pH 5)	
	Изотопы	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U
Твердый осадок снегового покрова	мкг/дм <sup>3</sup> *	0,0153	0,0001	0,4167	0,0036	2,7852	0,0211
	Доля, % **	0,1	<0,1	1,8	2,0	11,8	11,6
Зола уноса	мкг/дм <sup>3</sup> *	0,001	1,3894	3,7973	12,7928	0,3535	23,6033
	Доля, % **	0,002	3,3	9,1	30,5	0,8	56,3
	Доля, %	0,1	0,1	2,3	2,0	18,7	19,1
Проба	форма нахождения	Связанная с оксидами Fe и Mn		Органическая		Труднорастворимая	
	Экстрагент	0,04 NH <sub>2</sub> OH·HCl в 25% CH <sub>3</sub> COOH (pH 3)		30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (pH 2)		HNO <sub>3</sub> конц	
	Изотопы	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U
Твердый осадок снегового покрова	мкг/дм <sup>3</sup>	10,4262	0,0771	3,0965	0,0217	6,9608	0,0587
	Доля, %	44,0	42,3	13,1	11,9	29,4	32,2
Зола уноса	мкг/дм <sup>3</sup> *	12,7928	0,0096	0,0292	0,0929	0,0030	0,1916
	Доля, % **	30,5	2,9	9,0	28,5	0,9	58,7

\* – содержание в экстракте; \*\* – доля в суммарном содержании в пробе

Соотношение выявленных форм изотопов урана в нерастворимом осадке снегового покрова отличается от таковых для золы уноса. В золе уноса ГРЭС-2 изотопы  $^{235}\text{U}$  связан преимущественно с карбонатами и труднорастворимыми соединениями (более 50%), а также в равных долях (около 30%) находятся в сорбированной и органической форме, тогда как изотопы  $^{238}\text{U}$  связаны с оксидами Fe и Mn и труднорастворимыми соединениями.

*Таким образом, по результатам многолетнего (2005 г., 2009–2018 гг.) эколого-геохимического мониторинга в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска выявлена закономерность формирования повышенных уровней накопления As, Zn, Ba, Sr, U, Th, La, Hf, Ce, Sm, Ta, Tl, Yb, Lu в нерастворимом осадке снегового покрова при балансе угля более 35% (2009–2015 гг.), тогда как Hg и Br – при балансе природного газа более 50% на ГРЭС-2. Распределение уровней концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова имеет неоднородный характер по мере удаления от ГРЭС-2 в разные периоды наблюдений, что подтверждено математическим моделированием на примере урана и тория. В нерастворимом осадке снегового покрова уран и трансурановые элементы находятся в молекулярно-рассеянной форме, а изотопы  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$  имеют схожие формы их нахождения – гидроксидная (~40%), труднорастворимая (~30%), органическая и карбонатная (~10%).*

#### **5.7. Гидрохимическая характеристика снеговой воды и распределение химических элементов в системе «твердый осадок снегового покрова–снеговая вода» в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска**

Пробы снеговой воды в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска (2012–2014 гг.) характеризуются слабощелочным  $pH$  (6,1–6,9: среднее: 6,4 ед.) и близки к значениям  $pH$  в пробах из зоны воздействия других предприятий г. Томска (таблица 5.7.1). При этом *величины  $pH$*  в пробах в зоне воздействия ГРЭС-2 отличаются от ранее полученных значений  $pH$  – 8 ед. (Пасечник, 2010), от среднегородских – 6,0–7,4 ед. (Экология..., 1994; Семина и Иванов, 2003; Пасечник, 2010) и фоновых значений – 5,6 ед., но близки к значениям  $pH$  для осадков в Томске, бассейне Средней Оби и Сибири (5,5–6,0 ед., Вильденберг и др., 1984) и для снеговых вод Томской области (5,6–6,5 ед., Обзор..., 2018) (таблица 5.7.1). В фоновых пробах *величины  $pH$*  отражают «нейтральный» характер снеговых вод и сопоставимы с литературными данными для снеговых вод и атмосферных осадков для других фоновых районов (Пампура, 1993; Латыпова и др., 2005; Свистов, 2011; Касимов и др., 2016). Слабощелочная реакция снеговых вод также характерна для городских условий, например, в Восточной Москве (Касимов и др., 2016), Тюмени и Тобольске (Московченко, 1998; Московченко и Бабушкин, 2012; Московченко и др., 2021).

По значениям *минерализации* пробы снеговой воды в зоне воздействия ГРЭС-2 можно отнести к ультрапресным водам (таблица 5.7.1), что является характерным для снеговых вод урбанизированных территорий, например, для Томска (Пасечник, 2010), Восточной Москвы

(Касимов и др., 2016), Тобольска (Московченко и др., 2021). В зоне воздействия ГРЭС-2 значения минерализации превышают фон от 2,4 до 10 раз, ПДК<sub>хп</sub> и ПДК<sub>рх</sub> – в десятки раз, для снеговых вод в районе Байкала – в 2 раза (12,82 мг/дм<sup>3</sup>; Гребенщикова, 2013); не превышают среднегородское значение минерализации, близки к минерализация атмосферных осадков в г. Томске и в бассейне Средней Оби (таблица 5.7.1).

Снеговые воды из зоны воздействия ГРЭС-2 и промышленных предприятий г. Томска, а также фонового района имеют *гидрокарбонатно-кальциево-натриевый состав* (таблица 5.7.1).

*Содержания макрокомпонентов* превышают фон в десятки раз, но находятся в пределах среднегородских значений, опубликованных в работе (Пасечник, 2010), а также не превышают ПДК<sub>хп</sub> и ПДК<sub>рх</sub> (таблица 5.7.1). Применение антигололёдных средств на территории города может приводить к увеличению содержания хлоридов, нитратов натрия, кальция, магния и мочевины в снеговом покрове (Систер и Корецкий, 2004; Касимов и др., 2016).

Наиболее контрастные превышения *содержания сульфатов* как индикаторов воздействия высокотемпературного сжигания серосодержащего топлива над фоном характерны для проб из зоны воздействия ГРЭС-2 (таблица 5.7.1). В пробах из этого же района содержание сульфатов превышают в 2 раза среднегородское значение и значение для снеговых осадков в бассейне Средней Оби, а также близки к значениям в атмосферных осадках г. Томска (таблица 5.7.1). Доля вымывания  $SO_4^{2-}$  с осадками в общем атмосферном выпадении на водосбор Средней Оби составляет более 80% (Савичев и Иванов, 2010). Использование сульфатно-нитратного показателя ( $KSO_4^{2-}/NO_3^-$ ), как отношение содержания  $SO_4^{2-}/NO_3^-$  к аналогичному отношению в фоновом районе, позволяет определить степень трансформации снеговой воды (Власов, 2015; Касимов и др., 2016). В зоне воздействия ГРЭС-2 показатель  $KSO_4^{2-}/NO_3^-$  (5,8 ед.) выше, чем в зонах воздействия других предприятий (кирпичные заводы – 4,2 ед.; заводы ЖБК – 3,7 ед., нефтехимический комбинат – 2,2 ед.), и снижается по мере удаления (0,73 км – 5,9; 1,0 км – 3,6; 1,3 км – 4,4; 1,6 км – 2,6; 2,0 – 3 ед.).

Снеговые воды в районах расположения ГРЭС-2 и других предприятий г. Томска можно отнести к классу умеренно-грязных по *содержанию  $NO_3^-$  и  $NH_4^+$* , а также весьма грязных по содержанию  $NO_2^-$  в соответствии классификации по оценке экологического состояния природных вод (Романенко и др., 1990). Ранее проведенные исследования на всей территории г. Томска показали ореолы высоких содержаний сульфатов и азотистых соединений в снеговых водах в районе расположения ГРЭС-2 (Пасечник, 2010), что может быть связано с выбросами серы и азота высокотемпературного сжигания органического топлива (Латыпова и др., 2005).

Анализ суммы *полициклических ароматических углеводородов* в пробах снеговой воды в различных функциональных зонах Томска показал наиболее высокие концентрации суммы ПАУ (92–520 нг/л) в пробах из зоны воздействия ГРЭС-2.

Таблица 5.7.1. – Средние значения содержания макрокомпонентов в составе проб снеговой воды в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 и других промышленных предприятий г. Томска (2012–2014 гг.), мг/дм<sup>3</sup>

Компонент	CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
	мг/дм <sup>3</sup>							
Фон	4,0	3,0	0,9	0,26	0,6	0,04	0,1	0,16
ГРЭС-2	5,2 (3,08 – 7,0)	10,5 (6,1 – 18,5)	4,6 (1,8 – 14,97)	1,9 (0,64 – 5,00)	4,2 (1,9 – 11,02)	0,3 (0,09 – 0,8)	1,6 (0,5 – 3,8)	0,6 (0,10 – 0,9)
Нефтехимический комбинат	4,1 (2,5 – 4,4)	5,4 (3,00 – 9,8)	1,5 (1,1 – 2,6)	0,4 (0,2 – 1,5)	2,2 (1,5 – 3,4)	0,2 (0,2 – 0,3)	0,3 (0,04 – 1,21)	0,4 (0,03 – 1,50)
Кирпичные заводы	6,7 (3,8 – 17,6)	14,1 (8,3 – 21,3)	3,0 (1,8 – 4,5)	1,5 (0,7 – 2,2)	4,6 (2,9 – 7,1)	0,4 (0,2 – 0,7)	0,9 (0,4 – 1,3)	1,3 (0,50 – 2,6)
Заводы по производству железобетонных конструкций и бетона	6,7 (6,2 – 7,0)	10,2 (6,1 – 17,1)	1,9 (1,4 – 2,3)	2,5 (0,3 – 7,9)	3,9 (2,1 – 6,1)	0,1 (0,08 – 0,3)	2,1 (0,1 – 7,6)	0,1 (0,04 – 0,05)
Среднее г. Томск*	7,4 (4,6 – 8,0)	39 (18 – 73)	2,5 (4 – 12)	8,8 (8,8 – 63)	5,7 (0,1 – 35)	1,6 (0,1 – 8,5)	12,7 (0,1 – 47,4)	
ПДК <sub>хл</sub> **	–	–	500	350	–	–	200	–
ПДК <sub>рх</sub> **	–	–	–	300	180	–	120	500
Средний состав атмосферных осадков***	–	5,6	4,4	2	2	–	–	–
Средний химический состав атмосферных осадков (снег) в бассейне Средней Оби****	14,4	12,1	2,3	2,4	3,1	0,7	2,6	

совместные материалы с Е.А. Филимоненко (2015 г.); в скобках мин–макс; \* – данные Пасечник Е.Ю. (2010 г.); \*\* – предельно допустимые концентрации для вод хозяйственно-питьевого (ПДК<sub>хл</sub>) и рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>рх</sub>), гигиенические нормативы) \*\*\* – по данным С.Л. Шварцева и др. (1996 г.); \*\*\*\* – по данным О.Г. Савичева и А.О. Иванова (2010 г.); «–» – нет данных.

Таблица 5.7.1. (Окончание)

Компонент	Общая жесткость	Fe <sub>общ</sub>	ΣM	ПО	Электропроводность	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup>	pH
	мг-э/л	мг/дм <sup>3</sup>		мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	мS/см	мг/дм <sup>3</sup>				ед.
Фон	0,03	0,06	5,1	0,37	0,013	0,12	<0,01	1,62	<0,01	5,3
ГРЭС-2	0,2 (0,1 – 0,6)	0,1 (<0,01 – 0,1)	23,8 (12,7 – 52,0)	0,9 (0,3 – 1,5)	0,0 (0,02 – 0,09)	0,8 (0,2 – 2,3)	0,1 (0,03 – 0,2)	1,9 (1,6 – 2,4)	0,04 (0,01 – 0,07)	6,4 (6,1 – 6,9)
Нефтехимический комбинат	0,1 (0,09 – 0,2)	0,1 (<0,05 – 0,08)	10,4 (6,2 – 19,2)	1,4 (0,4 – 5,2)	0,02 (0,01 – 0,03)	0,2 (0,08 – 0,6)	0,03 (<0,01 – 0,05)	1,4 (1,1 – 1,5)	0,03 (<0,05 – 0,06)	6,3 (6,1 – 6,3)
Кирпичные заводы	0,3 (0,2 – 0,4)	0,08 (<0,05 – 0,15)	25,6 (21,5 – 34,9)	2,5 (1,0 – 6,3)	0,04 (0,03 – 0,05)	1,3 (0,4 – 4,7)	0,2 (0,03 – 0,5)	1,8 (<0,01 – 2,7)	0,08 (0,02 – 0,4)	6,4 (6,1 – 6,5)
Заводы по производству железобетонных конструкций	0,2 (0,1 – 0,3)	0,1 (0,07 – 0,22)	20,9 (10,6 – 36,6)	1,1 (1,0 – 1,1)	0,031 (0,05 – 0,02)	0,4 (0,2 – 0,5)	0,1 (0,03 – 0,1)	1,5 (1,4 – 1,6)	0,03 (0,02 – 0,05)	6,6 (6,0 – 6,7)
Среднее (г. Томск*)	–	<0,3 (<0,3 – 0,9)	68 (35 – 158)	2,35 (0,96 – 4,48)	–	1,4 (<0,05 – 2,1)	0,09 (0,01 – 3)	45	3,5	7,4 (4,6 – 8,0)
ПДК <sub>хп</sub> **	–	–	–	–	–	2,5	3,3	–	–	–
ПДК <sub>рх</sub> **	–	–	–	–	–	0,5	0,1	–	–	–
Средний состав атмосферных осадков***	–	–	17,4	–	–	0,8	–	–	–	6,0
Средний химический состав атмосферных осадков (снег) в бассейне Средней Оби****	–	0,09	23,1	–	–	0,74	0,03	0,98	0,14	6,1



В пробах снеговой воды в зоне воздействия ГРЭС-2 содержание Al, P, Cu, Zn, Hg повышено относительно ПДК<sub>рх</sub> от 1,2 до 7,7 раз, тогда как содержание остальных макро-и микроэлементов не превышает ПДК<sub>хп</sub> и ПДК<sub>рх</sub>.

В пробах снеговой воды и нерастворимого осадка снегового покрова наибольшее превышение над фоном характерно для Zn и W, тогда как спектр химических элементов, содержание которых превышает фоновые уровни от 2 до 5 раз очень широк, включает редкоземельные, радиоактивные и другие редкие элементы, тяжелые металлы и ряд макроэлементов (рисунок 5.7.1).

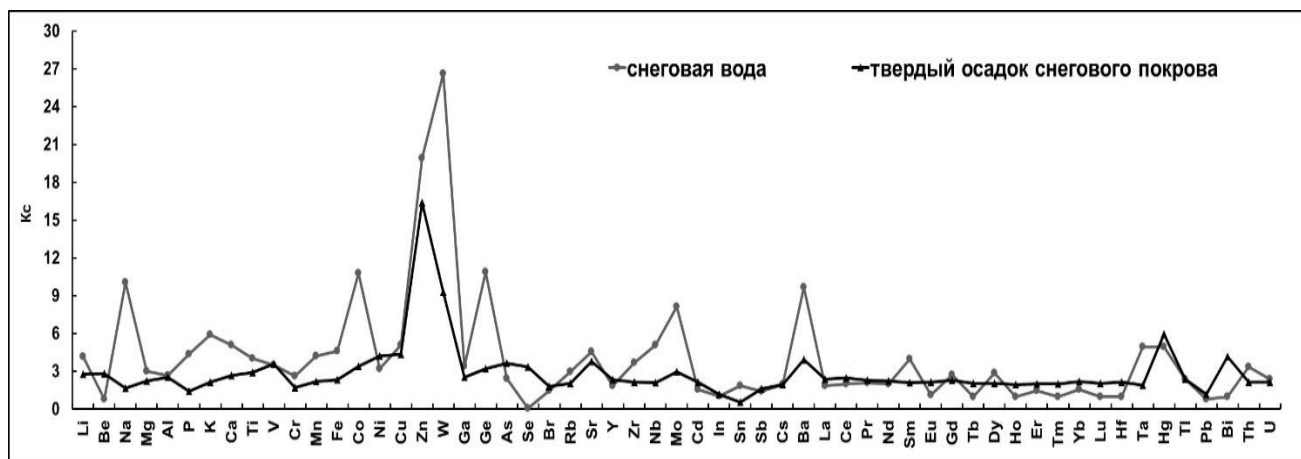


Рисунок 5.7.1. – Коэффициенты концентрации химических элементов в пробах снеговой воды и нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия Томской ГРЭС-2

По значениям коэффициентов распределения элементов ( $K_{распр}$ ) в системе «твердый осадок снегового покрова–снеговая вода» Br, Na, Ca, Sc, Hg, As, Zn, Sb, Cd выявлены как наиболее подвижные элементы ( $\log K_{распр} \leq 0$ ), т.е. способные мигрировать в виде легко растворимых соединений; спектр РЗЭ In, Ge, Sr, Ba, Lu, Tm, Tl, U, Th и другие микроэлементы – малоподвижные, т.е. сосредоточенные в основном в твердом осадке снегового покрова ( $\log K_{распр} > 0$ ) (рисунок 5.7.2). В сравнении фоном многие химические элементы снижают свои свойства подвижности в снеговом покрове в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска.

По балансовым соотношениям между взвешенными и растворенными формами химических элементов в снеговом покрове из зоны воздействия ГРЭС-2 определено, что Br, Na, Sb, Ca, Mo находятся в основном в растворенной форме (более 75% от общей массы снега); а редкоземельные элементы, U, Th, Nb, Hf, Ta, Ge, Ga, Zr и другие микроэлементы – связаны в основном с твердыми частицами (более 85%), а Hg Cd, Zn, Sc, As, Sr, Co, Ge, Ba и др. – могут находиться как в растворенной форме, так и ассоциироваться со взвешенными (твердыми) частицами (25–75%) (рисунок 5.7.3).

В снеговом покрове в зоне воздействия ТЭЦ г. Новосибирска для As, Br преобладает растворенная форма, а для K, Ca, Rb, Y, Zr, Nb, Th и др. – взвешенная форма (Девятова, 2009). В

снеговых осадках г. Иркутска V, Cr, Fe, Ni, Cu, Sr содержатся в нерастворимой фазе (>80% от общего содержания) (Онищук, 2010).

Балансы растворимой и взвешенной форм в снеговом покрове в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска отличаются от таковых для проб из фонового района (рисунок 5.7.3).

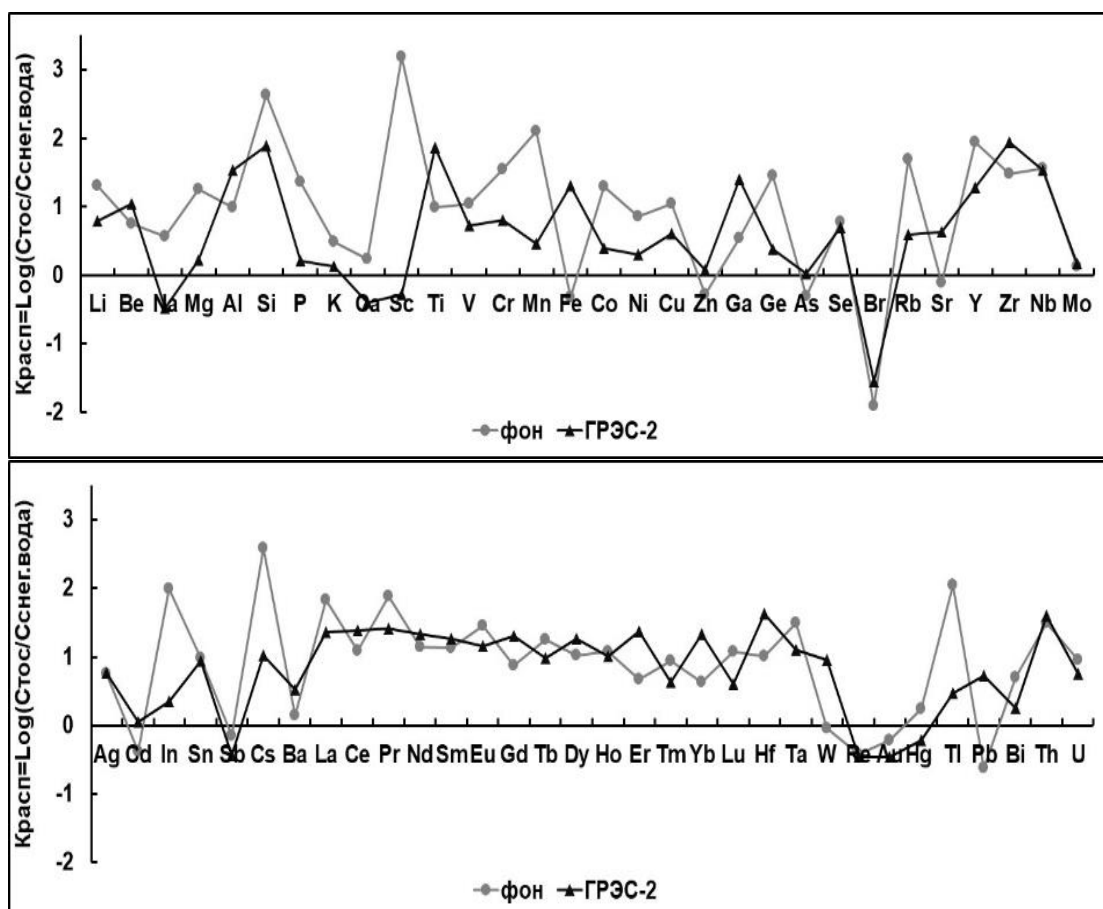


Рисунок 4.7.2. – Коэффициенты распределения химических элементов в системе «нерастворимый (твердый) осадок снегового покрова (ТОС)–снеговая вода» в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 и фоновом районе

Низкая пылевая нагрузка в фоновых районах обуславливает преобладание подвижных водорастворимых форм металлов в снеговом покрове, а, высокая на городских территориях – малую долю подвижных форм (Летувнинкас, 2002). Полученные нами данные для фонового района соотносятся с литературными данными. Так, в снеговом покрове фонового района для г. Новосибирска преобладают растворенные формы Cd, As, Br, Sb, Ca, Mn, Mo, I, Te (Девятова, 2009); для зимних атмосферных осадков г. Иркутска (ст. Монды) – K, Ca, Mn, Zn, Mo (Онищук, 2010). В бассейне реки Средней Оби выпадение Cu, Zn, Pb, Ni, Mn, Ba с осадками больше, чем путем «сухого» осаждения (Савичев и Иванов, 2010). В снежном покрове Центральной Арктики преобладает растворенная форма РЗЭ, Rb, Pb, Na, K, Th, Zn, Mg; а для Ca, Fe, Al, Cu, Ba, Gd, Bi, Ni – взвешенная форма (Шевченко, 2006).

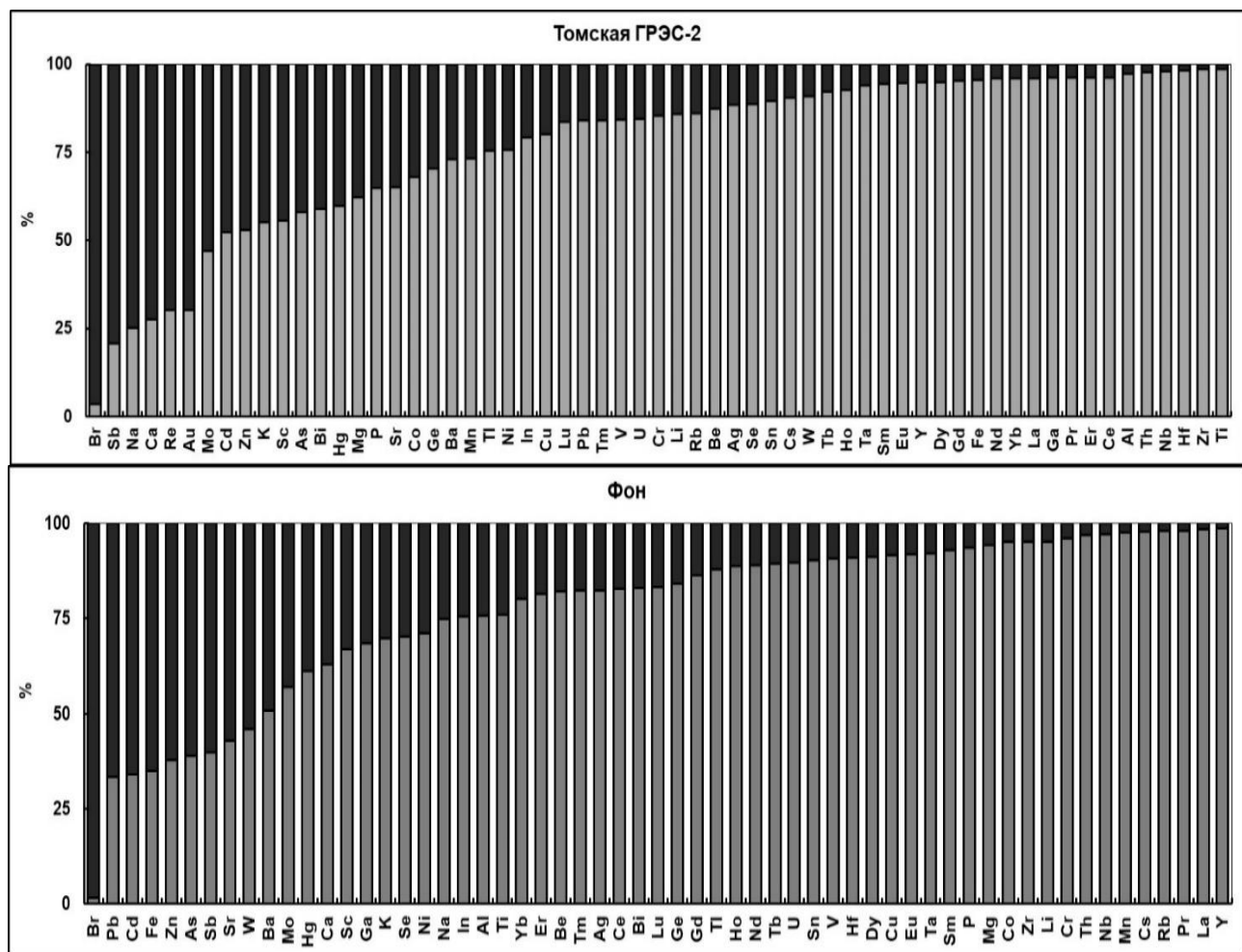


Рисунок 5.7.3. – Ранжирование химических элементов по соотношению растворенной (черный цвет) и взвешенной (серый цвет) форм их нахождения в снеговом покрове в зоне воздействия Томской ГРЭС-2 и фоновом районе

Таким образом, снеговые воды в зоне воздействия ГРЭС-2 г. Томска характеризуются слабощелочным рН, имеют гидрокарбонатно-кальциево-натриевый состав и являются ультрапресными, а также отличаются высоким содержанием сульфатов. Концентрации широкого спектра химических элементов в снеговой воде и нерастворимом осадке снегового покрова превышают фоновые уровни в несколько раз, указывая на техногенную трансформацию снегового покрова. Определено, что в техногенных условиях многие изучаемые химические элементы снижают свои свойства подвижности в сравнении с фоном. Редкоземельные элементы, Nb, Hf, Ta, Ge, Ga, Zr, U и Th более, чем на 85% содержатся в нерастворимом осадке снегового покрова, что указывает на их твердофазные формы нахождения.

## 6. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕГОВОГО ПОКРОВА

### 6.1. Краткая природно-климатическая и геоэкологическая характеристика области

Томская область, как крупная промышленная область на юге Западной Сибири, выбрана в качестве модельного субъекта для изучения в региональном масштабе особенностей формирования состава атмосферных аэрозолей в условиях воздействия многопрофильных производств и предприятий теплоэнергетики, использующих различные виды топлива (уголь, природный газ, древесина, нефть и др.).

В административном отношении Томская область включает 16 районов, в которых расположены 577 населённых пункта, в т.ч. города Томск (административный центр области), Северск (в 15 км от Томска), Асино, Колпашево, Стрежевой и Кедровый, и 112 сельских поселений (рисунок 6.1.1).



Рисунок 6.1.1. – Административное разделение Томской области на районы (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)

Расположена область на территории Западно-Сибирской равнины, в ее юго-восточной части, в бассейне реки Обь (Среднеобской бассейн), включая Обь и ее крупные притоки Томь, Чулым, Васюган, Тым, Чая, Кеть и Парабель. Главная водная артерия, р. Обь, разделяет территорию области на относительно пониженную и возвышенную (макс 258 м) части, последняя находится в Томь-Яйском междуречье, где залегают отроги Кузнецкого Алатау. В целом рельеф области равнинный и сильно заболоченный (до 40% территории), здесь расположено одно из крупнейших в мире Васюганское болото. Томская область расположена в таежной природной зоне, только край юга – в лесостепной зоне. Климат в области континентальный, поскольку область

расположена в умеренных широтах (55-61°с.ш.). В течение года главенствующими направлениями ветра являются юго-западное (~33%) и южное (~15%), а скорости ветра в среднем составляют 3-4 м/с. Среднегодовая температура воздуха в основном отрицательная и изменяется от -0,5°С (Томск) до -3,5°С (северо-восток области). Самый холодный месяц в году – январь, средняя температура в котором изменяется от -21...-23°С (север области) до -19...-20°С (юг области). Годовое количество осадков варьирует от 450 до 590 мм. Мощность снегового покрова в среднем составляет 60-80 см, который залегает около 180 дней на юге и 180-200 дней на севере.

Формирование экологической обстановки в Томской области напрямую коррелирует с особенностями сурового климата и предопределяет интенсификацию работы предприятий, особенно, теплоэлектроэнергетики, что приводит к увеличению выбросов загрязняющих веществ. Также приземные температурные инверсии в зимний период благоприятствуют высокому накоплению антропогенных эмиссий в атмосферном воздухе.

Недра Томской области богаты разнообразными полезными ископаемыми, например, ресурсы железных руд и циркон-ильменитовых россыпей, бурых углей, сапропелей и торфа, глин и строительных песков, подземных вод. Основную минерально-сырьевую базу составляют нефтегазовые месторождения, которые активно разрабатываются на севере области (Евсеева, 2001, Геологическое ..., 1999; Госдоклады о состоянии и охране окружающей среды в Томской области, 2007–2020 гг.).

На территории Томской области функционируют предприятия нефтегазодобывающего комплекса, лесозаготовительного и деревообрабатывающего производства, сельского хозяйства, машиностроение и металлообработки, ядерно-топливного цикла, нефтехимического комплекса, легкой промышленности, а также теплоэлектроэнергетики (таблица 6.1.1). Все эти отрасли промышленности вносят свой вклад в загрязнение атмосферного воздуха.

Антропогенная нагрузка на атмосферный воздух на всей территории области распределена неравномерно. В целом в области действуют >80 тыс. организованных стационарных источников загрязнения атмосферы, из них только около 1% имеют пылегазоочистное оборудование. В атмосферу выбрасываются газообразные, жидкие и твердые вещества, доля последних изменяется от 7 до 9% от общего объема всех видов загрязняющих веществ с 2008 г. по 2019 г.

В Томской области основными районами, вносящие наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха (65–70%), являются северные районы, где функционируют многочисленные нефтегазодобывающие предприятия. По официальным данным, с 2008 г. по 2019 г. происходило снижение объемов выбросов загрязняющих веществ на этих предприятиях от 1 до 5% за счет реализации программы утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ). На некоторых нефтегазовых месторождениях утилизация ПНГ достигает 70%. На втором месте по объемам выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух находятся предприятия

теплоэнергетики (5-11%), на третьем месте – химическое и нефтехимическое производство (3-5%). Вклад в загрязнение воздуха вносят и выхлопы автотранспорта (Госдоклады о состоянии и охране окружающей среды в Томской области, 2008; 2009; 2010; 2011; 2014; 2019; 2021).

Таблица 6.1.1. – Специализация районов Томской области по типу хозяйственной деятельности (Филимоненко, 2015)

Район	Промышленность
Александровский	Нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, пищевая (переработка рыбы)
Асиновский	Лесная, дерево-обрабатывающая, легкая, пищевая, комбикормовая, мукомольная; животноводство
Бакчарский	Пищевая, лесная, дерево-обрабатывающая, лесозаготовки; сельское хозяйство в т. ч. садоводство
Верхнекетский	Лесная и деревообрабатывающая; пищевая промышленность; растениеводство, животноводство
Зырянский	Растениеводство и животноводство
Каргасокский	Нефтегазовая, лесная
Кожевниковский	Сельское хозяйство, молочное животноводство, пищевая промышленность
Колпашевский	Сельское хозяйство, лесная, деревообрабатывающая и пищевая промышленности, производство минеральной воды
Кривошеинский	Сельское хозяйство, лесная промышленность
Молчановский	Лесная промышленность, дикоросы, животноводство
Парабельский	Нефтегазовая, лесная промышленность, добыча и переработка рыбы,
Первомайский	Лесная и деревообрабатывающая промышленность, сельское хозяйство
Тегульдетский	Лесная, сельское хозяйство
Томский	Лесозаготовительная; производство стройматериалов и керамических изделий, нефтехимия, агрокомплекс, ядерно-топливный цикл, машиностроение и другие
Чаинский	Сельское хозяйство
Шегарский	Сельское хозяйство, пищевая промышленность

В целом в Томской области расположено более 100 предприятий теплоэнергетики, крупные ТЭС размещены в Томске и Северске (таблица 6.1.2). По официальным данным в сельских населенных пунктах и центрах административных районов основными источниками загрязнения являются 336 котельных, из них 137 используют уголь, 113 – природный газ, 51 – древесину, 24 – нефть, дизтопливо, мазут, 11 – разные виды топлива (<http://green.tsu.ru/tomres/>).

В каждом административном районе области расположены угольные котельные, наибольшее их сосредоточение в техногенно-нагруженных Асиновском и Томском районах. Газификация Томской области является одним из самых приоритетных проектов региональной власти. На данный момент Кожевниковский район, а также северные Александровский и Парабельский районы на 2/3 является газифицированными районами, а в Верхнекетском районе в основном действуют котельные, где используется древесина.

Таблица 6.1.2. – Количество котельных, использующие различные виды топлива, в населённых пунктах на территории Томской области

Район	Виды топлива							Всего
	уголь	природный газ	древесина	диз. топливо	нефть	мазут	смешанный	
<b>Северные районы (нефтегазодобывающие)</b>								<b>48</b>
Александровский		9	–	1	–	–	1	11
Каргасокский	4	–	–	–	–	2	–	6
Парабельский	5	14	11	–	1	–	–	31
<b>Центральные районы</b>								<b>91</b>
Колпашевский	5	18	3	–	–	1	–	27
Молчановский	5	8	2	–	–	–	–	15
Чаинский	5	8	3	–	6	–	4	26
Кривошеинский	5	14	–	–	3	–	1	23
<b>Северо-восточные районы</b>								<b>13</b>
Тегульдетский	1	–	12	–	–	–	2	15
Верхнекетский	1	–	12	–	–	–	–	13
<b>Южные районы</b>								<b>46</b>
Бакчарский	6	2	–	–	3	–	3	14
Кожевниковский	6	17	–	–	–	–	–	23
Шегарский	18	5	–	–	1	–	–	24
<b>Юго-восточные районы</b>								<b>72</b>
Асиновский	28	–	4	–	1	–	–	33
Зырянский	5	–	–	–	–	–	–	5
<b>Восточный район</b>								
Первомайский	11	–	4	–	3	–	–	18
<b>Южный район (промышленно-нагруженный)</b>								<b>54</b>
Томский	32	20	–	1	1	–	–	54
<b>Итого в области</b>	<b>137</b>	<b>113</b>	<b>51</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>336</b>

использованы данные с сайта <http://green.tsu.ru/tomres/>; «–» – нет данных

Томский район, на юге области, является основным узлом существования сложных экологических проблем за счет воздействия разнопрофильных предприятий, которые сосредоточены в двух городах – Томске и Северске, где проживает около 70% населения всей области. Основная концентрация предприятий образует Северный промышленный узел (СПУ) Томск-Северской городской агломерации, где расположены такие крупные предприятия как нефтехимический комбинат (НХК), Сибирский химический комбинат с его ядерно-топливный циклом (ЯТЦ) и угольной ТЭЦ, агропромышленной комплекс и др. (рисунок 6.1.3).

В Томске загрязнение атмосферного воздуха формируется под влиянием многопрофильных предприятий – нефтехимический комбинат, деревообрабатывающие предприятия, машиностроение и металлообработка, приборостроение, электроламповое производство, пищевая промышленность, производство строительных материалов, а также предприятия по производству тепла и энергии (ГРЭС-2, ТЭЦ-3, пиковая резервная котельная). Наибольший суммарный вклад (~60%) среди стационарных источников в выбросы загрязняющих веществ вносят нефтехимический комбинат и теплоэнергетика. В Томске объемы выбросов твердых веществ от всех предприятий города составляют 3–4 тыс. тонн в год. В г. Томск в период с 2007

г. по 2020 г. среднегодовые концентрации взвешенных веществ в воздухе находятся на уровне 0,6–0,7 ПДК, но в разные месяцы наблюдались превышения ПДК в 1,5–5,5 раза на стационарных постах, расположенные в Советском (в районе ГРЭС-2), Ленинском районах, в п. Светлый (в районе НХК) (ежегодные госдоклады о состоянии и охране окружающей среды в Томской области, на сайте [https://ogbu.green.tsu.ru/?page\\_id=1456](https://ogbu.green.tsu.ru/?page_id=1456)).



Рисунок 6.1.6. – Схема размещения предприятий в Томском районе (Эколого-геохимические ..., 2006) (предприятия (1-29), 1 – нефтехимический комбинат; 2 – ТЭЦ-3; 20–25 – некоторые предприятия в г. Томск)

По показателям общего комплексного загрязнения окружающей среды и санитарно-гигиенической ситуации наиболее напряженными являются южный (Томский) и юго-восточный (Асиновский), северный (Парабельский), а наименее – северо-восточный (Верхнекетский) районы (Зинченко, 1999).

Начиная с 1990-х годов коллективом кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ (в н.в. отделение геологии) выполняются комплексные эколого-геохимические исследования компонентов природной среды и живого вещества на территории Томской области, результаты которых отражены в монографиях, публикациях и диссертациях (Экология..., 1994; Рихванов и др., 1996; Языков, Рихванов, 1996; Рихванов, 1997; Шатилов, 2001; Архангельская, 2004; Языков, 2006; Эколого-

геохимические..., 2006; Рихванов и др., 2008; Барановская, 2003; 2011; Таловская, 2007; Жорняк, 2009; Межибор, 2010; Наркович, 2012; Черненькая, 2016; Перминова, 2017; Максимова, 2018; Иванов, 2018; Барановская и др., 2020). В основном исследования выполняются в Томском районе, по результатам которых установлено формирование комплексной техногенной геохимической субпровинции, характеризующейся высокими уровнями накопления радиоактивных и редкоземельных элементов, брома в компонентах природной среды за счет воздействия предприятий северного промузла (СПУ). Определены также зоны воздействия крупных предприятий СПУ, границы которых выходят за 30-км зону влияния СХК. Проводятся работы по оценке изменения геохимической специализации почв, растений, накипи питьевых вод, живого вещества (кровь, волосы детей) во многих районах области под влиянием природно-техногенных факторов (Рихванов и др., 2008; Барановская, 2011; Монголина, 2011; Наркович, 2012; Черненькая, 2016; Перминова, 2017; Максимова, 2018; Барановская и др., 2020).



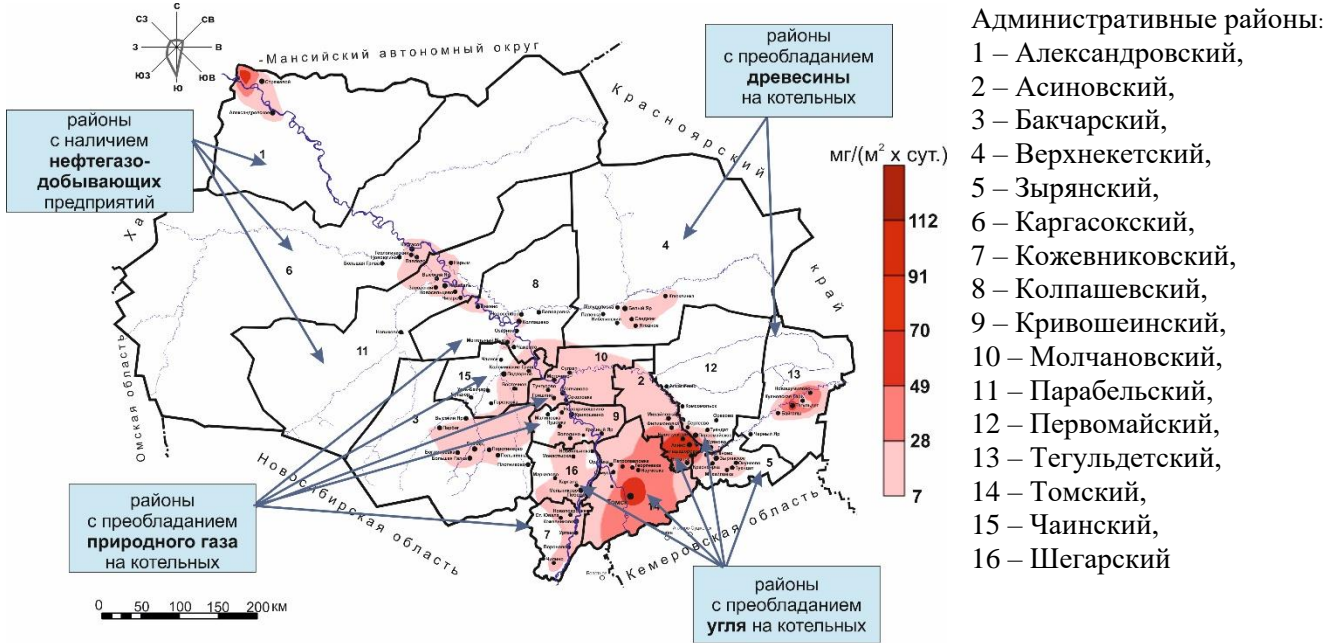
На территории Томской области в разные периоды (1970-1989 гг., 1990-е годы, начало 2000-х гг.) детальное изучение минералого-геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова выполнялись в Томском районе, а именно в г. Томск (Бояркина и др., 1993; Языков, 2006; Таловская, 2008; Филимоненко, 2015); г. Северск (Шатилов, 2001; Языков, 2006); сельских населенных пунктах (Экология..., 1994; Шатилов, 2001; Языков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006; Таловская, 2008), по результатам которых выделены участки с напряженной экологической ситуацией в зонах воздействия предприятий Томск-Северской агломерации. Исследования снегового покрова проводились в 2006–2014 гг. в районах железорудного проявления (Шайхиев, 2017) и нефтегазодобывающего комплекса (Большунова, 2015). В других административных районах Томской области исследования снегового покрова были проведены более 20 лет назад, выполнялись они мозаично, не во всех районах, и носили сугубо предварительный характер (Шатилов, 2001; Языков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006; Рихванов и др., 2008). Следовательно, необходимо получение современных знаний о пространственном распределении полей техногенного загрязнения атмосферными аэрозолями на основе эколого-геохимического районирования территории области с использованием нерастворимого осадка снегового покрова.

## **6.2. Пространственный анализ распределения пылевой нагрузки и минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова на территории области**

По результатам региональной масштабной снегогеохимической съемки на территории Томской области (116 населённых пунктов 16 административных районов, включая города Томск, Асино, Колпашево и Стрежевой) выявлено, что распределение пылевой нагрузки на территории области неравномерное – от 0,3 (с. Большая Грива, Каргасокский район) до 729 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) (в Томске), что соответствует изменению уровня загрязнения от низкого до среднего согласно общепринятой градации (Геохимия..., 1990), а также от низкого до высокого уровня относительно фона (рисунок 6.2.1).

В населенных пунктах области преимущественно выявлен низкий уровень пылевой нагрузки. Среднеарифметическое значение пылевой нагрузки составляет 27,5 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), что в 4 раза выше фона (7 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) (Шатилов, 2001)). По статистическим параметрам в качестве средней величины пылевой нагрузки для области предложено среднегеометрическое значение – 11 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) (Филимоненко, 2015), что близко к фону (7 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), Шатилов, 2001).

В минерально-вещественном составе нерастворимого осадка снегового покрова на территории сельских населенных пунктов преобладающим является группа техногенных частиц (рисунок 6.2.2), представленная в основном продуктами сжигания топлива (угольные, зола и шлак, микросферулы, сажеподобные частицы), что свидетельствует о вкладе местных котельных в формирование пылевой нагрузки.



Среднее значение пылевой нагрузки в сгруппированных районах области, мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)				Фон*
с преобладанием древесины на котельных	с преобладанием природного газа на котельных	с преобладанием угля на котельных		
9,9	11,5	23,1	7,0	

Рисунок 6.2.1. – Пространственное распределение пылевой нагрузки на территорию Томской области по данным снеговой съёмки в населённых пунктах (карта построена Е.А. Филимоненко, 2015; фон\* – Шатилов, 2001; Языков, 2006)

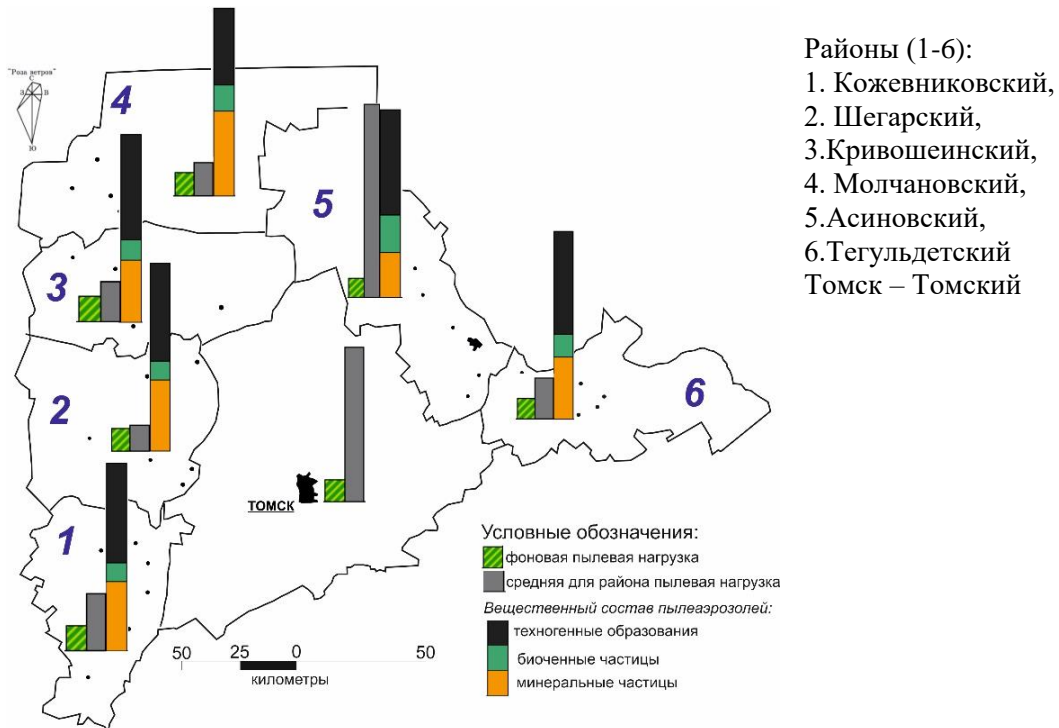


Рисунок 6.2.2. – Среднее значение величины пылевой нагрузки (мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) и минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова в районах Томской области (результаты с бинокулярного микроскопа, фон по Р<sub>п</sub> – Шатилов, 2001)

В пробах некоторых районов, например, в Асиновском, преобладают частицы опилок – продукты воздействия деревообрабатывающих производств. По результатам изучения ряда проб на бинокулярном микроскопе и рентгенофазовым анализом определено, что группа природных частиц представлена в основном минеральными образованиями (кварц, полевые шпаты, слюды, глинистые). Накопление в пробах минеральных частиц возможно за счет ветровой эрозии непокрытых снегом склонов и берегов рек, на которых расположены сельские поселения. Так, минеральные и биогенные частицы фиксируются в снеговом покрове на профиле вдоль р. Обь от Томска до ее эстуария (Шевченко и др., 2015). Не исключается поступление минеральных частиц за счет процессов региональной эоловой миграции минерального вещества в холодный период, что показано в работе Н.С. Евсеевой с соавторами (2020 г.) в результате исследований снегового покрова в районах, удаленных от техногенеза, в частности на юго-востоке Томской области.

На территории области пылевая нагрузка на уровне (6,2–11,6 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) близком к фоновому значению выявлена в группе районов (таблица 6.2.1; рисунок 6.2.1), характеризующихся низкой степенью техногенной напряженности и находящихся на расстоянии нескольких сот километров от Томск-Северской промышленной агломерации. Такую группу составляют населенные пункты северо-восточного (Верхнекетский), центральных (Колпашевский, Молчановский, Чаинский, Кривошеинский) и южного (Бакчарский) районов (Таловская и др., 2013; Филимоненко, 2015).

Таблица 6.2.1. – Среднее значение уровня пылевой нагрузки ( $P_n$ ) в сгруппированных районах по пространственному положению в Томской области по данным снеговой съемки

Сгруппированные районы	$P_n$ , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Сгруппированные районы	$P_n$ , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)
Южный (техногенно-нагруженный)	58,6	Восточный	11,6
Юго-восточные	39,7	Центральные	9,0
Северные (нефтегазодобывающий комплекс)	21,2	Северо-восточный	7,7
Южные	11,8	Фон*	7

фон\* – Шатилов, 2001; Язиков, 2006

Расположение в северо-восточном районе котельных, где древесина является основным видом топлива на котельных, а в центральных районах – значительного количества котельных на природном газе, обуславливает низкий уровень пылевой нагрузки относительно фона.

Пылевая нагрузка (11,4 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) также близка к фоновым значениям в населенных пунктах северного района области (Александровский). По профилю от Томска до эстуария р. Обь, на северо-западной границе Томской области, т.е. в северных районах области, также была выявлена низкая концентрация нерастворимых частиц в снеговой воде (0,58–5,72 мг/л) (Шевченко и др., 2015), что соответствует фону для снегового покрова Арктики и Субарктики (Шевченко, 2006).

В районе расположения нефтедобывающего предприятия Томской области нами было установлено, что пылевая нагрузка изменяется от 0,8 до 588 мг/(м<sup>2</sup>·сут.). На нефтяном месторождении основной вклад в пылевую нагрузку вносит факельное хозяйство, что согласуется с литературными данными (Московченко и Бабушкин, 2012). Определено, что на расстоянии 15 м от факела пылевая нагрузка составляет 588 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), а в 100 м – 16 мг/(м<sup>2</sup>·сут.), при среднем значении для месторождения 20,3 мг/(м<sup>2</sup>·сут.). Поступление твердых частиц происходит не только от сжигания попутного природного газа, но и при ветровой эрозии открытого почвенного покрова, который появляется из-за таяния снегового покрова вблизи факела за счет его термического воздействия. В районах расположения других объектов на месторождении пылевая нагрузка составляет 1,2–3,3 мг/(м<sup>2</sup>·сут.). В составе нерастворимого осадка снегового покрова около факела обнаружены сажеподобные (~40%) и минеральные частицы (~55%), которые и вносят свой вклад в пылевую нагрузку. В тоже время, минеральные частицы с размерами 1–15 мкм, углеродсодержащие пепловые сферулы и агрегаты сажи выявлены в снеговом покрове на северо-западной границе Томской области (Шевченко и др., 2015), что может свидетельствовать о дальнем переносе выбросов нефтяных месторождений.

Определена пылевая нагрузка на уровне 2–2,5 фонов в населенных пунктах северных нефтегазодобывающих (Парабельский, Каргасокский), юго-восточного (Зырянский) и южного (Кожевниковский) районов. Ореолы пылевой нагрузкой на уровне 4–9 фонов локализуются в южном районе (Томский), который является промышленно-нагруженным и с ярко выраженным техногенезом из-за воздействия предприятий Томск-Северской агломерации, а также в юго-восточном районе (Асиновский), где размещены лесозаготовительные и деревообрабатывающие производства (Таловская и др., 2014; Филимоненко, 2015). В населённых пунктах этих районов также функционирует много котельных, использующих в основном уголь, которые вносят свой вклад в формирование уровня пылевой нагрузки.

В сельских населённых пунктах Томского, Зырянского, Кожевниковского и Асиновского районов пылевая нагрузка формируется как под влиянием выбросов местных котельных и частного сектора, так и из-за трансграничного переноса выбросов от промышленных предприятий Томск-Северской городской агломерации. В ранее проведенных работах (Экология ..., 1994; Рихванов, 1997; Шатилов, 2001; Барановская, 2003; 2011; Язиков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006) показано прохождение оси загрязнения по главенствующему направлению ветра от агломерации через сельские населенные пункты выше обозначенных районов, которые являются дальними зонами воздействия агломерации. Высокие концентрации нерастворимых частиц (13,4–39,1 мг/л) также выявлены в пробах снегового покрова в северном направлении от Томска вдоль р. Оби (Шевченко и др., 2015).

Изучение динамики пылевой нагрузки с 1990-х годов (Эколого-геохимические..., 2006) по 2006–2013 гг. в сельских населённых пунктах, расположенных в Томском районе, в частности в северо-восточной зоне воздействия предприятий Томск-Северской городской агломерации, показало статистически достоверное сохранение пылевой нагрузки на уровне  $\sim 30$  мг/(м<sup>2</sup>·сут.).

Главными техногенными источниками пылевого загрязнения в населённых пунктах области являются котельные. Прослеживается закономерность формирования пылевой нагрузки на уровне близкого к фону в районах области, где преобладающим является древесина и природный газ на котельных (рисунок 6.2.1). В сельских населённых пунктах районов, где используют в основном уголь на котельных, в среднем величина пылевой нагрузки превышает фон в 3 раза.

Установлено, что в районах размещения котельных, использующих природный газ, древесину или нефть величины пылевой нагрузки близки к фону (таблица 6.2.2). Основу проб нерастворимого осадка снегового покрова составляют сажеподобные вещества (таблица 6.2.3). Так, по литературным данным, в снеговом покрове в местах пожарищ лесных массивов накапливается тонкодисперсная пыль, содержащая органическое вещество (Украинцев, 2017).

В зоне воздействия сельских котельных, работающих на угле, величины пылевой нагрузки формируются на уровне 6 фонов и статистически значимо выше величин для населённых пунктов, в которых они расположены (рисунок 6.2.1). Пылевая нагрузка в зоне воздействия угольных котельных формируется за счет выбросов из труб котельных, пыления во время погрузо-разгрузочных работ, а также ветрового переноса с открытых угольного и золошлакового складов, выбросов автотранспортного парка, качества используемого угля.

Таблица 6.2.2. – Диапазон значений пылевой нагрузки ( $P_n$ ) в зоне воздействия котельных, использующих различные виды топлива в Томской области

$P_n$ , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Местные котельные в населённых пунктах			
	на угле	на природном газе	на древесине	на нефти
Среднее	40,6±15,2	5,7±0,6	7,3±0,9	6,1±1,1
Минимум	3,6	1,8	4,1	3,4
Максимум	492	15,6	16,8	14,1
Кол-во проб	33	28	14	9

Анализ минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снега в зоне выбросов угольных котельных показывает доминирование продуктов сжигания угля и пыления с угольного склада – зольные, шлаковые, сажа, угольные частицы, микросферулы (более 40%); котельных на древесине – древесного волокна (30%) и опилок (35%) (таблица 6.2.3).

В нерастворимом осадке снегового покрова из района расположения угольных котельных (Томский, Асиновский районы) также обнаружены рентгенофазовым методом минеральные фазы кварца (45–71%), альбита (9–22%), муллита (10–25%), кристобалита (2%). Выявленное содержание подобных фаз (кварц  $\sim 20\%$ , альбит  $\sim 22\%$ , муллит  $\sim 35\%$ ) в золе уноса угольной котельной свидетельствуют о техногенном поступлении этих минералов. Следует отметить, что

муллит, кристобалит и аморфный кварц обнаружены рентгенофазовым методом в пробах из некоторых сельских населённых пунктов, на примере, Томского района (Таловская, 2008), что может указывать на их техногенное поступление за счет угольных котельных.

Таблица 6.2.3. – Минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия котельных, использующих различные виды топлива в Томской области, %

Тип частиц, %	Локальные котельные в сельских населённых пунктах		
	на угле	на природном газе	на древесине
<b>Природные</b>	25	60	20
Кварц	10	20	5
Полевые шпаты	5	15	5
Слюда	5	5	-
Растительные остатки	5	20	10
<b>Техногенные</b>	75	40	80
Сажеподобные, угольные	15	5	5
Шлак, зола	25	10	-
Алюмосиликатные микросферулы	10	5	5
Металлические микросферулы	10	-	-
Волокнистые	5	15	
Опилки	-	-	35
Кирпичная крошка	5	-	-
Частицы краски	5	-	5
Древесное волокно	-	-	30

результаты изучения на бинокулярном микроскопе, «-» – не обнаружено

Таким образом, по данным масштабной снеговой съемки определена пространственная неоднородность в распределении пылевой нагрузки на территорию Томской области, обусловленная различной хозяйственной деятельностью, видами используемого топлива на котельных и уровнем техногенной напряженности в районах области. Повышенные величины пылевой нагрузки формируются в промышленно-нагруженных южных районах, а также на территории нефтяного месторождения в северном районе области. Пылевая нагрузка в населенных пунктах зависит от влияния местных котельных. Наибольший вклад в пылевое загрязнение вносят угольные котельные, чем котельные, использующие природный газ, нефть или древесину. Минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова в основном представлен техногенными частицами (продукты сжигания топлива).

### 6.3. Геохимические особенности нерастворимого осадка снегового покрова на территории области

На территории Томской области содержание химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова и среднесуточное выпадение химических элементов на снеговой покров существенно варьирует из-за различной геоэкологической обстановки в сельских и городских (Томск, Асино, Колпашево, Стрежевой) населённых пунктах районов области (таблицы 6.3.1-6.3.2).

Анализ совокупности статистических критериев (Колмогорова-Смирнова, Лилефорса и Шапико-Уилка), а также проверки нормальности рядов (значения коэффициентов асимметрии  $A$  и эксцесса  $E$  и отношение к их стандартным отклонениям  $\delta A$  и  $\delta E$ ) показал, что распределение содержания изучаемого спектра химических элементов (исключение  $Sc$  и  $Rb$ ) в нерастворимом осадке снегового покрова статистически значимо отличается от нормального закона, что указывает на наличие факторов, искажающих их распределение.

Таблица 6.3.1. – Числовые характеристики содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населенных пунктов Томской области

Эл-т	N	m	$X_{геом}$	$X_{мед}$	Mo	Min	Max	S	V	$\delta_m$	A	E
Na	753	0,6	0,5	0,5	M	0,1	2,8	0,3	53,9	0,01	1,3	3,9
Ca	753	1,3	1,2	1,2	4,0	0,1	6,2	0,7	53,6	0,03	2,7	11,0
Fe	753	2,4	2,1	2,1	3,7	0,3	17,9	1,4	57,4	0,05	4,2	35,7
Hg	455	0,2	0,1	0,1	0,8	0,01	0,7	0,1	70,6	0,01	1,2	1,4
As	753	9,2	6,8	6,8	0,5	0,1	71,0	7,9	86,3	0,3	2,6	10,7
Zn	752	311	252	249	1492	1,0	1493	225	72,3	8,2	2,3	7,4
Sb	752	3,8	2,8	2,9	M	0,03	105,5	5,1	135	0,2	12,8	230
Co	753	11,8	10,1	10,6	M	1,4	93,7	7,0	59,5	0,3	2,9	25,0
Cr	752	95,7	85,7	84,4	M	10,8	433	51,0	53,2	1,9	2,6	11,3
Ba	753	464	393	385	331	17,1	1384	276	59,5	10,1	1,3	1,6
Sr	753	210	143	174	15	12,0	1436	175	83,5	6,4	2,3	9,5
Sc	753	6,8	6,1	6,6	M	0,1	29,9	3,0	43,9	0,1	0,9	4,1
Br	753	5,7	3,9	5,2	0,3	0,02	29,1	3,9	68,7	0,1	1,0	2,1
Rb	753	39,1	36,5	38,7	M	2,5	150	13,9	35,6	0,5	0,9	4,8
Cs	753	2,2	1,9	2,0	0,1	0,1	6,6	1,2	52,2	0,04	1,0	1,1
La	753	22,7	19,7	20,6	M	1,2	167	12,7	56,3	0,5	3,0	24,2
Hf	753	4,0	3,5	3,7	M	0,1	12,4	1,9	46,7	0,1	0,8	0,8
Au	741	0,04	0,02	0,03	0,0005	0,0005	0,5	0,1	122	0,002	4,3	27,4
Ce	753	49,0	44,0	45,7	102	2,5	417	25,5	52,1	0,9	4,8	58,8
Nd	753	18,0	15,9	16,9	0,5	0,5	58,8	8,2	45,8	0,3	0,9	1,5
Ta	753	0,6	0,5	0,5	0,05	0,004	2,8	0,5	71,4	0,02	1,5	3,0
Sm	753	3,5	3,1	3,3	M	0,1	15,9	1,7	49,3	0,1	1,3	4,2
Eu	753	0,7	0,6	0,6	M	0,02	4,3	0,4	56,2	0,01	2,2	14,2
Tb	753	0,5	0,4	0,5	0,03	0,02	2,1	0,3	55,1	0,01	1,2	2,7
Yb	753	1,9	1,7	1,9	M	0,1	7,7	0,8	42,7	0,03	0,8	3,0
Lu	753	0,3	0,2	0,2	M	0,005	1,0	0,1	45,6	0,004	1,0	2,2
Th	753	5,5	4,7	4,9	15	0,03	20,5	3,2	58,5	0,1	1,6	3,4
U	753	2,7	2,2	2,3	7,3	0,1	14,3	1,8	66,5	0,1	1,7	5,0

метод ИНАА, Hg – ААСМ; содержание элементов в мг/кг; Ca, Na, Fe – в %; N – объем выборки; m – среднее;  $X_{геом}$  – среднее геометрическое;  $X_{мед}$  – медиана; Mo – мода; Min – минимум; Max – максимум; S – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации;  $\delta_m$  – стандартная ошибка среднего; A – асимметрия;  $\delta_A$  – стандартная ошибка асимметрии (равно 0,1); E – эксцесс;  $\delta_E$  – стандартная ошибка эксцесса (равно 0,2); M – мультимодальное распределение

Распределение содержания химических элементов подчиняется ближе логнормальному закону. Признаком однородности распределения элементов являются близкие по значению показатели моды и медианы (Шестаков, 1988). Анализ этих показателей в выборке показывает существенные различие значений моды и медианы для всех изучаемых элементов. В пробах

распределение 13-ти элементов (Sm, Lu, Cr, Yb, Hf, Sc, Rb, Ta, Co, Na, Eu, La, Sb) является мультимодальным, что может свидетельствовать о множестве источников их поступления.

Таблица 6.3.2 – Числовые характеристики среднесуточного выпадения химических элементов на снеговой покров ( $P_{\text{общ}}$ ) на территории населенных пунктов Томской области

Эл-т	N	m	$X_{\text{геом}}$	$X_{\text{мед}}$	Mo	Min	Max	S	V	$\delta_m$	A	E
Na	751	217	66,2	55,9	M	2,9	8498	664	306	24,2	8,2	80,5
Ca	751	477	151	122	M	4,0	17648	1366	286	49,8	7,5	69,7
Fe	751	742	266	239	M	6,7	21435	1759	237	64,2	6,7	56,7
Hg	455	4,9	2,4	2,4	M	0,02	44,8	6,1	125	0,3	2,4	8,0
As	751	260	85,0	75,8	M	0,6	11797	687	264	25,1	9,4	127
Zn	751	7960	-	2767	M	12	206040	16862	212	615	5,9	48,7
Sb	751	87,2	-	33,0	M	3,1	1699	164	188	6,0	4,9	33,3
Co	751	407	127	112	M	3,2	12732	1072	263	39,1	6,9	58,8
Cr	751	2281	-	1020	M	80	62794	4911	215	179	7,1	64,9
Ba	751	15377	4938	4193	M	111	598217	37401	243	1365	7,8	92,7
Sr	751	7235	1804	1819	M	9,8	385145	21077	291	769	9,9	148
Sc	751	236	76,0	68,0	M	2,1	8124	645	273	23,5	7,3	65,7
Br	751	112	48,5	54,2	M	0,3	9912	420	373	15,3	18,5	406
Rb	751	1269	458	425	M	9,2	45692	3591	283	131	8,6	88,8
Cs	751	75,7	24,2	21,7	M	0,1	2943	207	274	7,6	8,0	82,7
La	751	747	247	223	M	6,8	19652	1805	242	65,8	6,3	50,0
Hf	751	136	43,8	41,0	M	0,4	5196	375	276	13,7	8,0	80,1
Au	751	0,6	-	0,3	0	0,02	11,0	1,0	169	0,04	4,9	31,9
Ce	751	1563	553	504	M	16,9	41236	3757	240	137	6,5	52,7
Nd	751	573	199	178	M	1,8	14999	1332	232	48,6	6,2	49,1
Ta	751	21,7	6,0	5,8	M	0,02	685	56	260	2,1	7,0	62,3
Sm	751	123	39	37	M	0,1	5365	348	283	12,7	8,7	99,6
Eu	751	25,3	7,6	7,1	M	0,1	902	69	274	2,5	7,4	68,3
Tb	751	17,6	5,4	5,2	M	0,02	571	46	261	1,7	7,1	62,3
Yb	751	65,2	21,7	19,9	M	0,05	2052	170	260	6,2	7,1	62,3
Lu	751	9,0	2,9	2,7	M	0,1	309	23,7	265	0,9	7,4	68,3
Th	751	183	58,6	52,9	M	0,2	5824	468	256	17,1	7,3	68,4
U	751	86,2	27,4	24,9	M	0,2	3879	220	255	8,0	9,2	129

см. примечание к табл. 6.3.1;  $\delta_A$  - стандартная ошибка асимметрии (равна 0,1); E – эксцесс;  $\delta_E$  – стандартная ошибка эксцесса (равна 0,2),  $P_{\text{общ}}$  в мг/км<sup>2</sup>·сут., Na, Fe, Ca в г/(км<sup>2</sup>·сут.)

Для территории области наличие геохимических аномалий в снеговом покрове отражается в виде высокого значения коэффициента вариации (V), характеризующего дифференцированное распределение элементов. По значению V крайне неравномерное распределение (V=50–75%) на территории области характерно для Au, As, Sb; неравномерное (V=50–75%) – для большинства изучаемых элементов (Ce, Ca, U, Th, Cr, Ba, Sr, Br, Cs, Tb, Fe, Zn, Ta, Co, Na, Eu, La, Hg) и равномерное (V≤50%) – для Sm, Lu, Yb, Hf, Nd, Sc и Rb. Неоднородность распределения элементов указывает на наличие факторов, влияющих на искажение их фонового распределения.

По результатам кластерного анализа в нерастворимом осадке снегового покрова Томской области выделено 6 геохимических ассоциаций: полиэлементная ассоциация (U-Th-редкие (Ta, Hf, Eu, Cs, Rb, Sc)-редкоземельные (La, Ce, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu) элементы-Hg); Br-Sb-Au; Zn-Cr; Na-Rb; Sr-Ba; Fe-Co-As-Ca, отражающие воздействие источников загрязнения в районах области



(рисунок 6.3.1). Значимые взаимосвязи между парами элементов в нерастворимом осадке снегового покрова находятся в пределах значений коэффициентов корреляции Спирмена от 0,12 до 0,97. Выделенные ассоциации химических элементов в результате кластерного анализа имеют значимые коэффициенты корреляции от 0,23 до 0,97 ( $r \sim 0,23$  для Sb-Au;  $r \sim 0,31$  для Zn-Cr;  $r \sim 0,44$  для Na-Rb;  $r \sim 0,65$  для Sr-Ba;  $r \sim 0,24-0,54$  для Fe-Co-As-Ca;  $r \sim 0,40-0,59$  для Hg-Th-U-Lu-Tb-Yb-La-Sc,  $r \sim 0,32-0,97$  для U и Th с редкоземельными элементами). Выявленные кластерным и корреляционным анализом геохимические ассоциации элементов могут быть обусловлены схожими источниками поступления элементов в населенных пунктах области.

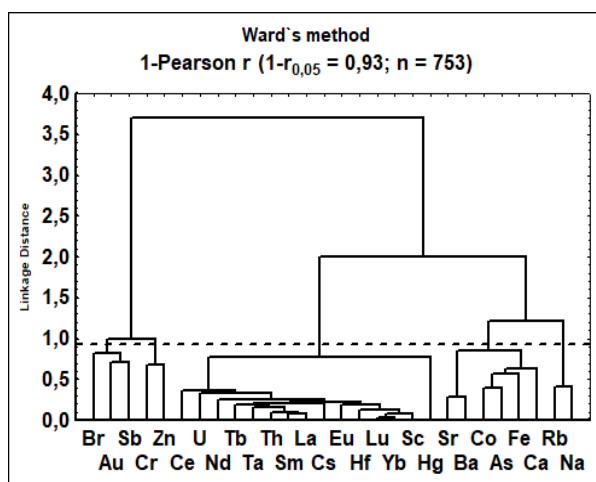


Рисунок 6.3.1. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в нерастворимом осадке снегового покрова из населенных пунктов Томской области

Определена сильная отрицательная корреляционная связь между Au со всеми изучаемыми элементами ( $r \sim 0,18-0,3$ ) (кроме Sb, Br, Zn и Hg), а также между Ca-Br ( $r \sim 0,26$ ) и Na-Hg ( $r \sim 0,35$ ). Не ассоциируются U и Br, Ce и Br, Th и Br, Cr и Sr, Au и As, Au и Cs, Tb и Au, Zn и Rb, Zn и Hg, Rb и Sb, Hg и As, Hg и Rb, Ca и Hg. Выявленные отрицательные и не ассоциируемые связи между элементами вероятно указывают на разные источники поступления элементов, либо могут быть связаны с локальным накоплением отдельных элементов в снеговом покрове.

Для определения техногенной геохимической специализации нерастворимого осадка снегового покрова на территории Томской области выполнялось сравнение средних уровней накопления химических элементов с фоновыми значениями (Шатилов, 2001; Языков, 2006), кларком гранитно-гнейсового слоя земной коры (Григорьев, 2009), кларком земной коры (Wedepohl, 1995; Rudnick and Gao, 2003; Hu and Gao, 2008; Григорьев, 2009) и кларком ноосферы (Глазовский, 1982; Глазовская, 1988), что отражено в виде коэффициентов концентрации ( $K_c$ ) и коэффициентов превышения выпадений элементов над фоном ( $K_p$ ), коэффициентов аэрозольной аккумуляции ( $K_a$ ), факторов обогащения (ФО), кларка концентрации (КК), соответственно (таблица 6.3.3–6.3.4).

В нерастворимом осадке снегового покрова наиболее интенсивно концентрируются U ( $K_c = 13,4$ ), La, Sm, Tb и Yb (6–9,6), а также Na, Ba, Ta, Ce (3–5), менее активно – Ca, Hg, Br, Zn, Sr, Sb, Hf, Lu и Th (1,5–2). Содержание остальных элементов близко к фоновому значению (Co, Fe, Cr, Sc, Nd) или ниже фона (Rb, Eu, Cs, Au). Наибольшие средние значения  $K_p$  характерны для U ( $K_p = 61,5$ ), Na, Ba, La, Ce, Ta, Sm, Tb, Yb и Lu (17–38). Значительно меньшие  $K_p$  (3–10) определены для остальных изучаемых элементов, кроме Au ( $K_p = 0,4$ ).

Таблица 6.3.3 – Геохимическая характеристика нерастворимого осадка снегового покрова на территории Томской области относительно фона

Эл-т	Содержание, мг/кг		K <sub>c</sub>	P <sub>общ</sub> , мг/(км <sup>2</sup> ·сут.)		K <sub>p</sub>
	среднее	фон		среднее	фон	
Na*	0,6±0,01	0,2	4,0	217±24,2	10,5	20,7
Ca*	1,3±0,03	0,8	1,6	477±49,8	57	8,4
Fe*	2,4±0,05	1,9	1,3	742±64,2	130	5,6
Hg**	0,2±0,01	0,08	2,1	4,9±0,3	1,2	4,1
As**	9,2±0,3	18,6	1,5	260±25,1	117	2,2
Zn**	311±8,2	139	2,2	7960±615	879	9,1
Sb	3,8±0,2	2,3	1,7	87,2±6,0	16,1	5,4
Co	11,8±0,3	10,3	1,1	407±39,1	72,1	5,6
Cr	95,7±1,9	110	0,9	2281±179	770	2,9
Ba	464±10,1	100	4,6	15377±1365	700	21,9
Sr	210±6,4	100	2,1	7235±769	700	10,3
Sc	6,8±0,1	7,1	0,9	236±23,5	49,7	4,7
Br	5,7±0,1	2,9	1,9	112±15,3	20,3	5,5
Rb	39,1±0,5	55,0	0,7	1269±131	385	3,3
Cs	2,2±0,04	3,5	0,6	75,7±7,6	24,5	3,1
La	22,7±0,5	2,8	8,1	747±65,8	19,6	38,1
Hf	4,0±0,1	2,2	1,8	136±13,7	15,4	8,8
Au	0,04±0,002	0,2	0,2	0,6±0,04	1,5	0,4
Ce	49,0±0,9	10,3	4,8	1563±137	72,1	21,7
Nd**	18,0±0,3	14,9	1,2	573±48,6	88,7	6,5
Ta	0,6±0,02	0,2	3,2	21,7±2,1	0,7	31
Sm	3,5±0,1	0,6	6,2	123±12,7	4,0	30,7
Eu	0,7±0,01	1,1	0,4	25,3±2,5	7,7	3,3
Tb	0,5±0,01	0,06	8,5	17,6±1,7	0,4	44,1
Yb	1,9±0,03	0,2	9,6	65,2±6,2	1,4	46,6
Lu	0,3±0,004	0,15	1,7	9,0±0,9	0,5	17,9
Th	5,5±0,1	2,9	1,9	183±17,1	20,3	8,9
U	2,7±0,1	0,2	13,4	86,2±8,0	1,4	61,6
	Z <sub>c</sub> =64			Z <sub>p</sub> =479		

объем выборки – 753 пробы; для Hg – 455; \* – содержание Na, Ca, Fe в мг/кг, P<sub>общ</sub> в г/(км<sup>2</sup>·сут.); фон – Шатилов, 2001; Язикова, 2006; \*\* – фон см. главу 3

Установлено, что по величине K<sub>a</sub> нерастворимый осадок снегового покрова на территории Томской области умеренно обогащен Hg, Zn, Sb, Br, U и As в соответствии с градацией (K<sub>a</sub> = 1–10; Добровольский, 2003). По значениям ФО нерастворимый осадок снегового покрова существенно обогащен Sb, Zn, Br, Hg (ФО=5–10); менее – As, Ba, Cr, La, Hf, Yb, U, Th (1,5–3,6). Содержание Ca, Fe, Co, Sr, Ce, Cs, Rb, Nd, Sm, Lu, Eu (ФО = 0,6–1,4) в нерастворимом осадке снегового покрова близко к кларкам в верхней части земной коры. По значениям КК в пробах интенсивно концентрируются Zn, Sb, Ba (КК= 6–12), а также As, Cr, La, U, Ce, Hf (1,5–3).

По средним значениям Z<sub>c</sub> (64) формируется средний уровень загрязнения с умеренно-опасной экологической ситуацией на территории Томской области. Наибольший вклад (81,1%) в величину среднего значения Z<sub>c</sub> вносит суммарный уровень концентрации полиэлементной ассоциации (U-Th-Hg-Ba-Sr-лантаноиды). Среднесуточное выпадение 28 химических элементов на снеговой покров формирует низкий уровень загрязнения по значениям Z<sub>p</sub> (таблица 6.3.3).

Таблица 6.3.4. – Геохимическая характеристика нерастворимого осадка снегового покрова на территории Томской области относительно кларка земной коры и кларка ноосферы

Эл-т	Содержание, мг/кг	Кларк земной коры*	ФО	К <sub>е</sub>	Кларк ноосферы**	КК
Na, %	0,6±0,01	2,4	0,6	0,3	1,9	0,3
Ca, %	1,3±0,03	2,6	1,1	0,5	1,6	0,8
Fe, %	2,4±0,05	4,1	1,3	0,6	2,2	1,1
Hg	0,2±0,01	0,1	5,8	2,3	0,18	0,9
As	9,2±0,3	6,5	3,6	1,4	3	3,1
Zn	311±8,2	78,0	9,2	3,5	46	6,8
Sb	3,8±0,2	0,8	10,4	3,2	0,25	15,2
Co	11,8±0,3	15,0	1,7	0,7	10	1,2
Cr	95,7±1,9	92,0	2,3	0,5	50	1,9
Ba	464±10,1	628	1,6	0,9	36	12,9
Sr	210±6,4	270	1,7	0,8	240	0,9
Sc	6,8±0,1	15,0	1,0	0,4	7	1,0
Br	5,7±0,1	1,6	7,9	2,9	26	0,2
Rb	39,1±0,5	110	0,8	0,4	96	0,4
Cs	2,2±0,04	4,9	1,0	0,7	5,9	0,4
La	22,7±0,5	32,0	1,6	0,7	12	1,9
Hf	4,0±0,1	4,5	1,9	0,8	2,5	1,6
Ce	49,0±0,9	1,4	1,0	0,4	1,9	0,3
Nd	18,0±0,3	29,0	1,4	0,6	16	1,1
Ta	0,6±0,02	63,0	1,7	0,7	32	1,5
Sm	3,5±0,1	5,7	1,4	0,6	4,5	0,8
Eu	0,7±0,01	1,3	1,2	0,5	0,64	1,1
Tb	0,5±0,01	0,9	1,3	0,5	0,64	0,8
Yb	1,9±0,03	2,5	1,7	0,7	1,9	1,0
Lu	0,3±0,004	0,5	1,1	0,5	0,45	0,6
Th	5,5±0,1	9,3	1,3	0,5	7,6	0,7
U	2,7±0,1	2,5	2,4	1,2	1,9	1,4

\* – кларк земной коры: Григорьев, 2009; рекомендации из работы (Касимов и Власов, 2015)) \*\* – кларк ноосферы (Глазовский, 1982; Глазовская, 1988); ФО – фактор обогащения; К<sub>е</sub> – коэффициент аэрозольной аккумуляции; КК – кларк концентрации

Высокие значения ФО (>1), КК, К<sub>е</sub> и К<sub>р</sub> (≥1,5) могут свидетельствовать о накоплении химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова за счет воздействия местных техногенных источников (теплоэлектроэнергетика, многопрофильные промышленные предприятия, нефтегазодобывающие объекты и др.). Концентрации химических элементов в около кларковых для земной коры или более низких значениях в компонентах природной среды указывают на литогенную природу элементов (Перельман и Касимов, 1999). Низкие значения К<sub>е</sub> и К<sub>р</sub> (<1,5) в компонентах природной среды свидетельствуют о рассеивании элементов («деконцентрирование», «обеднение», «разубоживание»; Геохимия..., 1990).

Исследования изменчивости состава атмосферного воздуха над Россией показывают, что в зимний период в аэрозольное загрязнение воздуха вносят существенный вклад местные источники, наблюдается интенсивное увеличение концентрации субмикронного аэрозоля в

населенных пунктах и их окрестностях, а при неблагоприятных метеорологических условиях концентрация аэрозоля существенно возрастает (Копейкин, 2008; Емиленко и Копейкин, 2009).

Кроме влияния местных источников на формирование загрязнения твердыми частицами в Томской области, не исключается поступление в районы области химических элементов в составе мелко- и ультрадисперсной фракции аэрозольных частиц за счет дальнего переноса выбросов от местных источников, а также – трансграничного переноса из соседних регионов, в том числе и в силу аэродинамического распределения потоков воздуха по долинам рек. Это предположение основано на литературных данных, что около 50% массы аэрозольных частиц размерами менее 1 мкм оседает от источника на дистанции более, чем на 1000 км (Megacities..., 2011), а локальный перенос микро-и наночастиц наблюдается на расстояния до 10 км от источника, региональный – 100–1000 км, глобальный – более 1000 км (Лисицын, 2011).

На территории Томской области происходит перенос загрязняющих веществ как от промышленных источников самого промышленно-нагруженного южного Томского района, так и от соседних регионов, граничащих с областью. Трансграничный перенос загрязняющих веществ связан с геоморфологическими и метеорологическими особенностями Западной Сибири. Равнинный рельеф территории и направление барического градиента в холодное полугодие с юго-юго-востока на запад-северо-запад определяют развитие стойкого юго-западного переноса. В приземном слое атмосферы в зимний период над территорией Западной Сибири преобладает западный зональный ветер (Ломакина, 2008).

В ранее проведенных работах (Экология ..., 1994; Рихванов, 1997; Шатилов, 2001; Барановская, 2003; 2011; Язиков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006) показано прохождение оси загрязнения по главенствующему направлению ветра от Томск-Северской промышленной агломерации в северо-восточном и юго-западном направлениях через сельские населенные пункты не только Томского района, где размещена агломерация, но и южных, юго-восточных и восточных районов, граничащих с Томским районом. Эти районы выделены как дальние зоны воздействия предприятий агломерации.

Исследования снегового покрова в окрестностях Томск-Северской промышленной агломерации выявили перенос твердых частиц с макро-и микроэлементами на расстоянии 30–40 км в север-северо-восточном направлении с использованием математических моделей (Рапута, и др., 2011) и на 5–60 км благодаря циклоническим процессам (Захарченко и др., 2020). Перенос аэрозольных частиц от техногенных источников наблюдается на территории Томской области и вдоль р. Обь по результатам выявленных в снеговом покрове твердых частиц (пепел и черный углерод), образующихся при сжигании различных видов топлива – отопительные системы, факела на нефтегазовых месторождениях, автотранспорт (Шевченко и др., 2015).

На макромасштабном уровне с использованием модели обратных траекторий переноса воздушных масс определено, что на территорию Томской области в зимне-весенний период происходит трансграничное поступление аэрозолей с юго-запада через район Средней Азии и Республики Казахстан, Средиземноморья, Ближнего Востока, а также с южной части Западной Европы. В зимне-весенний период также значительное влияние на микроэлементный состав фоновых аэрозолей Томской области может оказывать арктическая воздушная масса, которая может приносить тяжелые металлы от крупных горно-металлургических производств полярных районов (Симоненков, 2015). С метеорологических позиций, при движении циклонов с запада на восток и при юго-западных воздушных потоках, наблюдается трансграничный перенос загрязняющих веществ на территорию Томска из Новосибирской области и Республики Казахстан (Захарченко и др., 2020). В результате проведенной нами совместной работы с сотрудниками ИОА СО РАН на территории Обсерватории «Фоновая», в 70 км от Томска, по синхронному исследованию химического состава слоев снежной толщи и измерений счетной концентрации аэрозолей в воздухе и его дисперсности, был выявлен аэрозольный перенос из Кемеровской области с учётом рельефа местности и метеопараметров (Белан и др. 2018).

В районах, удаленных от техногенного воздействия, обогащение снегового покрова химическими элементами может происходить за счет поступления вещества из недр, через горные породы, почвы, водоёмы, включая ветровую эрозию обнаженных участков замерзших почв (когда снеговой покров только начинает формироваться), во время сильных метелей (перенос на десятки и сотни метров) (Кренделев и Бордонский, 1990). В некоторых работах (Погребняк и др., 1979; Kristiansson et al., 1990), в т.ч. и на территории Томской области (Соболев, 2013), над погребенными телами полезных ископаемых изучаются процессы эндогенного поступления химических элементов в снеговой покров из-за геологических неоднородностей (скопление полезных ископаемых, тектонические разломы и др.) и диффузии в составе пленочных вод по микротрещинам и капиллярам от подстилающих горных пород.

*Таким образом, в нерастворимом осадке снегового покрова на территории Томской области выполнена оценка региональных средних уровней концентрации 28 химических элементов, включая редкоземельные, уран и торий. Определены средние величины среднесуточного выпадения 28 элементов на снеговой покров на территории области. Выявлены 6 значимых геохимических ассоциаций в нерастворимом осадке снегового покрова (полиэлементная лантаноиды-U-Th-Ta-Hf-Cs-Rb-Sc-Hg; Br-Sb-Au; Zn-Cr; Na-Rb; Sr-Ba; Fe-Co-As-Ca). Установлена региональная техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на U, Ba, Na, Zn, Ta, Sr, Hg, Br, Hf, Th, Sb и лантаноиды.*

#### 6.4. Пространственное распределение химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории области

Установленный большой разброс уровней концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова и среднесуточного выпадения элементов на снеговой покров на территории Томской области (таблица 6.3.1–6.3.2), свидетельствует о формировании локальных геохимических полей загрязнения атмосферными аэрозолями под воздействием местных техногенных источников.

По уровням накопления 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова административные районы области закономерно объединяются по видам их хозяйственной освоенности, техногенной напряженности, пространственному расположению в области, удаленности от Томск-Северской промышленной агломерации (рисунок 6.4.1).

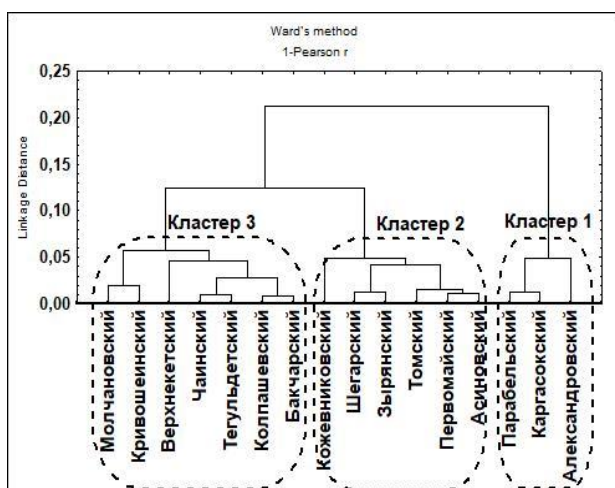


Рисунок 6.4.1. – Дендрограмма корреляционной матрицы административных районов Томской области по содержанию 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова

Наблюдается группировка районов в 3 кластера: кластер 1 – северные районы с наличием нефтегазодобывающих предприятий (Парабельский, Каргасокский, Александровский), кластер 2 – южный с сильным проявлением промышленного техногенеза (Томский), юго-восточные (Асиновский (с лесоперерабатывающими предприятиями), Зырянский), южные (Кожевниковский, Шегарский) и восточный (Первомайский) районы со слабовыраженным техногенезом и находящиеся в зоне переноса выбросов от Томск-Северской агломерации.

В ранее проведённых работах (Рихванов, 1997; Шатилов, 2001; Барановская, 2003; 2011; Язиков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006) восточный и юго-восточные районы были выделены как дальняя (100–200 км) север-северо-восточная зона воздействия агломерации согласно главенствующему направлению ветра, а южные районы – как дальняя юг-юго-западная зона воздействия. В кластере 4 объединены южный (Бакчарский), северо-восточный (Верхнекетский), восточный (Тегульдетский) и центральные (Чаинский, Колпашевский, Молчановский, Кривошеинский) районы. Группа районов в кластере 3 характеризуются очень слабовыраженным техногенезом, также районы находятся вне зоны переноса выбросов от агломерации, на расстоянии от нее более, чем на 200 км. Объединение районов в один кластер связано с близким химическим составом нерастворимого осадка снегового покрова в населенных

пунктах этих районов за счет влияния схожих источников, приводящие к формированию техногенных геохимических субпровинций.

Средние значения содержания химических элементов в составе нерастворимого осадка снегового покрова и среднесуточного выпадения элементов на снеговой покров в сгруппированных районах области по степени техногенной трансформации территории и условиями техногенеза приведены в таблицах 6.4.1-6.4.3.

В нерастворимом осадке снегового покрова большинства районов уровни накопления многих рассматриваемых элементов статистически значимо отличаются друг от друга (тест Краскела-Уоллиса,  $p < 0,001$ ), что указывает на специфичные местные источники формирования геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова. Особенности уровней концентрации элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населённых пунктов районов области проявляются в геохимических рядах по значениям  $K_c$  (таблица 6.4.2).

Северо-восточный район (Верхнекетский) характеризуется статистически значимо низким накоплением химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова и среднесуточным выпадением элементов на снеговой покров по сравнению с таковыми для других районов области (тест Краскела-Уоллиса,  $p < 0,001$ ). Это отражено в низких значениях коэффициентов концентрации и коэффициентов превышения выпадений над фоном, суммарного показателя загрязнения и нагрузки (таблица 6.4.1–6.4.3). Эти геохимические особенности объясняют обособленное положение данного района в кластере 3 на дендрограмме (рисунок 6.4.1). На территории района функционируют в основном котельные, работающие на древесине, а также этот район значительно удален (более 200 км) от промышленно-нагруженного южного района (Томский) и находится вне зоны его воздействия. Полученные данные указывают, что Верхнекетский район является экологически благополучным районом области.

По результатам эколого-геохимического районирования по составу нерастворимого осадка снегового покрова определена локализация техногенных геохимических субпровинций. В качестве примера представлены схемы пространственного распределения некоторых микроэлементов (рисунок 6.4.2).

Контрастные геохимические ореолы редкоземельных элементов, урана и тория, некоторых редких элементов (*Ta, Hf, Cs, Rb*) и тяжелых металлов (*Hg, Sr, Ba*) формируются в южной и юго-восточной части Томской области, охватывая населённые пункты промышленно-нагруженных районов (Томский, Асиновский) и районов со слабо выраженным техногенезом (Кожевниковский, Шегарский, Бакчарский). В данных районах формируется средний уровень загрязнения и умеренно-опасная экологическая ситуация за счет концентрации спектра микроэлементов, формирующие геохимические ореолы (таблица 6.4.2). Выявленная

геохимическая специализация проб на территории данных районов связана преимущественно с воздействием местных котельных, которые в основном используют уголь (таблица 6.1.2).

Таблица 6.4.1. – Средние содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории сгруппированных районов Томской области, мг/кг

Районы	Северные	Северо-восточный	Восточные		Центральные
			Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	
Эл-т	С нефтегазодобывающим техногенезом (преобладание природного газа на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание природного газа на котельных)
Na,%	<b>0,9</b>	0,41	0,47	0,41	0,5
Ca,%	1,4	1,1	0,99	1,1	1,2
Fe,%	2,7	1,3	1,51	1,6	2,0
Hg	0,07	0,101	н.д.	0,109	<b>0,120</b>
As	10,8	5,4	7,9	5,17	9,1
Zn	231	303	198	232	352
Sb	3,3	3,2	2,6	1,6	3,9
Co	11,6	5,4	7,3	9,12	9,6
Cr	98,2	64,4	50,0	68,9	109
Ba	362	281	389	422	336
Sr	178	149	200	189	153
Sc	6,0	3,4	4,5	5,4	5,5
Br	3,6	5,9	4,8	4,7	7,6
Rb	43,3	26,1	34,1	30,3	33,7
Cs	1,4	1,0	1,7	1,8	1,7
La	19,3	10,3	14,2	21,9	17,6
Hf	3,8	2,2	3,1	3,3	3,2
Au	0,03	0,04	0,03	0,03	0,1
Ce	40,9	26,7	35,3	44,2	40,4
Nd	15,3	10,6	13,3	15,3	15,6
Ta	0,5	0,2	0,4	0,5	0,4
Sm	3,0	1,7	2,5	3,0	2,8
Eu	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6
Tb	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4
Yb	1,7	0,96	1,4	1,6	1,5
Lu	0,2	0,13	0,17	0,2	0,2
Th	3,7	2,7	3,7	4,8	4,1
U	1,9	1,2	1,9	2,3	2,0
Th/U	2	2,3	1,9	2,1	2,2
La+Ce/ Yb+Lu	31,0	33,9	31,6	36,0	33,5
Br/Na	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
n	124	38	36	41	154

n – количество проб; н.д. – нет данных; фон\* – см. примечание к табл. 6.3.3

Формирование техногенной геохимической специализации нерастворимого осадка снегового покрова в районе расположения котельных с различными видами топлива рассмотрено



в разделе 6.6. В изучаемых районах также возможен дальний перенос загрязняющих веществ от Томск-Северской промышленной агломерации, что было представлено в разделе 6.3.

На дендрограмме в кластере 2 (рисунок 6.4.1) южный промышленно-нагруженный район (Томский) занимает немного обособленное положение, что связано с отличительной техногенной нагрузкой от других районов из-за влияния Томск-Северской промышленной агломерации.

Таблица 6.4.1. (Окончание)

Районы	Южные	Юго-восточные		Южный (техногенно-нагруженный)		Фон*
		С слабым проявлением техногенеза (преобладание угля и природного газа)	С лесозаготовительным техногенезом (преобладание угля на котельных)	С слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	С сильным проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	
Эл-т						
Na,%	0,5	0,37	0,37	0,52	0,9	0,15
Ca,%	1,1	1,5	0,9	1,4	1,9	0,82
Fe,%	2,2	2,3	1,98	3,0	3,5	1,87
Hg	<b>0,153</b>	<b>0,209</b>	<b>0,190</b>	<b>0,341</b>	<b>0,182</b>	0,08
As	8,3	7,9	7,3	6,7	13,7	6,2
Zn	301	363	252	211	501	139
Sb	<b>4,0</b>	2,2	<b>4,5</b>	<b>2,7</b>	<b>6,8</b>	2,3
Co	11,4	<b>14,4</b>	10,1	<b>15,6</b>	17,5	10,3
Cr	<b>112</b>	73,7	93,7	85,9	<b>112</b>	110
Ba	405	<b>560</b>	349	<b>809</b>	<b>713</b>	100
Sr	179	<b>290</b>	140	<b>304</b>	<b>316</b>	100
Sc	7,1	7,8	6,2	<b>10,2</b>	<b>9,2</b>	7,2
Br	<b>7,5</b>	<b>6,4</b>	<b>12,3</b>	<b>5,5</b>	2,7	2,9
Rb	39,3	38,1	34,5	<b>52,5</b>	<b>45,0</b>	55
Cs	2,5	2,7	2,3	<b>4,3</b>	<b>2,9</b>	3,5
La	22,6	<b>25,3</b>	18,6	<b>42,1</b>	<b>29,2</b>	2,8
Hf	3,9	<b>4,1</b>	3,2	<b>6,9</b>	<b>4,9</b>	2,2
Au	0,1	0,03	0,05	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	0,22
Ce	51,2	<b>55,6</b>	44,5	<b>87,8</b>	<b>57,1</b>	10,3
Nd	17,4	<b>20,6</b>	16,7	<b>29,9</b>	<b>22,2</b>	14,9
Ta	0,6	<b>0,64</b>	0,5	<b>1,5</b>	<b>0,8</b>	0,2
Sm	3,6	<b>4,1</b>	3,1	<b>6,3</b>	<b>4,4</b>	0,6
Eu	0,7	<b>0,9</b>	0,6	<b>1,3</b>	<b>0,92</b>	1,1
Tb	0,5	<b>0,5</b>	0,48	<b>0,96</b>	<b>0,65</b>	0,06
Yb	2,0	<b>2,1</b>	1,7	<b>3,1</b>	<b>2,5</b>	0,2
Lu	0,3	<b>0,3</b>	0,2	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	0,15
Th	5,8	<b>6,7</b>	4,9	<b>12,1</b>	<b>6,3</b>	2,9
U	3,4	<b>3,5</b>	2,4	<b>5,2</b>	<b>2,9</b>	0,2
Th/U	1,8	1,9	2,1	2,3	2,2	14,5
La+Ce/ Yb+Lu	33,3	34,4	33,1	36,7	29,9	37,4
Br/Na	0,002	0,002	0,003	0,001	0,0003	0,002
n	117	46	28	68	101	-

Таблица 6.4.2. – Геохимические ряды элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории сгруппированных районов Томской области

Группа районов	Уровни коэффициентов концентрации (K <sub>c</sub> )				Z <sub>c</sub>
	> 20	20–15	15–5	5–1,5	
<b>Северные районы</b>					
С нефтегазодобывающим техногенезом (преобладание природного газа на котельных)	–	–	U (9,3), Yb (8,7), <b>Na (6)</b> , Tb (7,5), La (6,9)	Sm (5,3), Ba (3,6), Ce (4,0), Sr (1,7), Ta (2,7), As (1,7), Ca (1,7)	51
<b>Северо-восточный район</b>					
Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	–	–	U (5,8)	Yb (4,8), Tb (3,9), Sm (3), Ba (2,8), Na (2,7), Ce (2,6), Zn (2,2), <b>Br (2)</b>	25
<b>Восточные районы</b>					
Со слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	–	–	U (11,3), Yb (8), La (7,8), Tb (6,8), Sm (5,3)	Ce (4,3), Ba (4,2), Na (2,8), Ta (2,3), Sr (2)	48
Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	–	–	U (9,5), Yb (7), Tb (5,8), La (5,1)	Sm (4,4), Ba (3,9), Ce (3,4), Na (3,1), Sr (2)	38
<b>Центральные районы</b>					
Со слабым проявлением техногенеза (преобладание природного газа на котельных)	–	–	U (9,4), Yb (7,6), Tb (6,6), La (6,3)	Sm (4,9), Ce (3,9), Na (3,3), Ba (3,4), <b>Br (3,3)</b> , Zn (2,5), As (2,6*), Ta (2,1), Ca (1,5), <b>Hg (1,5*)</b>	46
<b>Южные районы</b>					
Со слабым проявлением техногенеза (преобладание угля и природного газа на котельных)	<b>U (21,5*)</b>	<b>U (17)</b>	<b>Yb (9,8), Tb (8,6), La (8), Sm (6)</b>	<b>Ce (4,9), Ba (4), Na (3,6), Ta (3,2), Br (2,6), Zn (2,2), Hg (2), Th (2), Sr (1,8), Sb (1,7), Lu (1,7),</b>	<b>65</b>
<b>Юго-восточные районы</b>					
С лесозаготовительным техногенезом (преобладание угля на котельных)	–	<b>U (17,3)</b>	<b>Yb (10,3), Tb (9,1), La (9), Sm (7,2), Ba (5,6), Ce (5,4)</b>	<b>Ta (3,2), Sr (2,9), Hg (2,6), Zn (2,6), Na (2,5), Th (2,3), Br (2,2), Lu, Hf (2)</b>	<b>72</b>
Со слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	–	–	U (11,8), Yb (8,4), Tb (8), La (6,6), Sm (5,4)	Ce (4,3), <b>Br (4,2)</b> , Ba (3,5), Na (2,4), <b>Hg (2,4)</b> , Ta (2,3), <b>Sb (2)</b>	52
<b>Южный район (техногенно-нагруженный)</b>					
С сильным проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	<b>U (26,1)</b>	–	<b>Tb (16), Yb (15,5), La (15), Sm (11,1), Ce (8,5), Ba (8,1), Ta (7,6)</b>	<b>Hg (4,3), Th (4,2), Na (3,5), Hf, Sr, Lu (3), Nd, Br (2)</b>	<b>120</b>
г. Томск	–	–	<b>U (14,5), Yb (12,7), Tb (10,8), La (10,4), Sm (7,7), Ba (7,1), Na (6,3), Ce (5,5)</b>	<b>Ta (4,2), Zn (3,6), Sr, Sb (3), Ca (2,4), Hg, Lu, Hf, As, Th, Fe (2)</b>	<b>87</b>

жирным шрифтом выделены элементы с высоким K<sub>c</sub> относительно других районов; \* – в отдельном районе; Z<sub>c</sub> – суммарный показатель загрязнения

В данной работе анализируются уровни накопления химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории сельских населенных пунктов Томского района (сс.

Наумовка, Георгиевка, Самусь, Петропавловка, Орловка, Поросино), которые наиболее подвержены влиянию предприятий агломерации согласно ранее проведенным работам (Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Эколого-геохимические..., 2006), и пробы из г. Томск.

Таблица 6.4.3. – Среднесуточное выпадение химических элементов на снеговой покров на территории населенных пунктов сгруппированных районов Томской области, мг/(км<sup>2</sup>·сут.)

Районы	Северные		Северо-восточный		Восточные		Центральные районы	
	С нефтегазодобывающим техногенезом (преобладание природного газа на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание древесины на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание природного газа на котельных)	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание природного газа на котельных)	
Na	218	35,8	148	47	48,9			
Ca	322	94,6	450	180	106			
Fe	521	111	648	199	185			
Hg	1,42	0,537	н.д.	0,686	0,544			
As	199	38,6	362	65,8	83,9			
Zn	3943	2483	3700	2492	2695			
Sb	65,4	21,5	67,1	20,2	32,5			
Co	234	47,2	478	146	90,7			
Cr	1712	490	1698	676	893			
Ba	7744	2601	26580	6007	2922			
Sr	3565	1472	15838	3115	1364			
Sc	133	28,7	256	73,0	53,0			
Br	82,4	36,3	346	39,8	65,7			
Rb	1031	230	1293	343	316			
Cs	33	7,7	76,5	21,4	16,4			
La	425	85	887	285	165			
Hf	83	19,7	159	43,5	30,1			
Au	0,4	0,3	0,6	0,2	0,4			
Ce	922	213	2009	563	374			
Nd	338	86,8	757	196	147			
Ta	11,9	1,9	23,2	7,1	4,1			
Sm	69,1	14,4	206,4	42,1	27,0			
Eu	14,5	2,8	29,7	7,7	5,3			
Tb	10,6	1,9	21,2	5,7	3,8			
Yb	39,1	8,4	73,9	21,2	14,6			
Lu	5,2	1,1	9,3	2,8	2,0			
Th	87,8	21,1	244,7	66,2	39,3			
U	39,4	9,7	156,2	35,0	18,6			
n	124	38	36	41	154			
Z <sub>p</sub>	148	36	542	122	46			

n – количество проб, Na, Fe, Ca в г/(км<sup>2</sup>·сут.), н.д. – нет данных, фон\* – см. примечание к 6.3.3; Z<sub>p</sub> – суммарный показатель нагрузки

Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова территории г. Томск проявляется в высоких уровнях накопления U, Ba, Na, Zn, Sr, Sb, Ca, Hg, As, Fe, лантаноидов, формирующих средний уровень загрязнения и умеренно-опасную экологическую

ситуацию по величинам  $Z_c$  и  $Z_p$  (таблица 6.4.2), за счет влияния промышленных предприятий и теплоэнергетики, что детально рассмотрено в главе 4–5.

Таблица 6.4.3. (Окончание)

Район	Южные	Юго-восточные		Южный (техногенно-нагруженный)		Фон*
		С лесазаготови- тельным техногенезом (преобладание угля на газа)	С слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	С слабым проявлением техногенеза (преобладание угля на котельных)	г. Томск	
Эл-т	Со слабым проявлением техногенеза (преобладание угля и природного газа)					Шатилов, 2001; Языков, 2006
Na	76,4	278	58,5	147	853	10,5
Ca	142	1520	150	410	1545	57
Fe	275	1554	312	903	2526	130
Hg	1,71	8,25	2,81	8,30	8,42	1,2
As	99,8	442	109	209	895	3,5
Zn	3533	16429	4233	6009	30247	879
Sb	50,6	90	61,7	74,6	312	16,1
Co	144	1044	168	487	1336	72,1
Cr	1235	4118	1322	2126	7394	770
Ba	5179	37981	5833	24771	45898	700
Sr	2134	20150	2259	9766	20946	700
Sc	89,2	587	100	303	779	49,7
Br	81,5	286	181	143	119	20,3
Rb	489	2694	526	1499	4061	385
Cs	30,2	193	34,6	125	243	24,5
La	281	1796	300	1237	2257	19,6
Hf	50,3	309	52,8	200	434	15,4
Au	0,6	0,9	0,7	0,5	1,3	1,5
Ce	615	3852	746	2544	4518	72,1
Nd	214	1458	276	887	1658	88,7
Ta	7,7	47,7	7,8	44,4	66,3	0,7
Sm	44,6	291	50,0	186	369	4
Eu	9,0	64,2	9,5	37,2	79,8	7,7
Tb	6,6	40,2	7,7	28,2	54,6	0,4
Yb	24,5	150	27,0	90,7	211	1,4
Lu	3,3	21,4	3,6	13,3	28,8	0,5
Th	71,1	467	80,8	349	516	20,3
U	44,6	236	41,4	153	216	1,4
n	117	46	28,0	68,0	101	–
$Z_p$	121	994	162	629	1288	–

Выявлены статистически значимо высокое содержание большинства изучаемых элементов (U, Th, Ba, Hg, Fe, редкие, РЗЭ) в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населенных пунктов южного (Томского) района по сравнению с содержанием в пробах из других районов области (тест Краскела-Уоллиса,  $p < 0,001$ ) (таблица 6.4.1). Коэффициенты концентрации рассматриваемых элементов имеют высокие значения (таблица 6.4.2), обуславливая высокое значение  $Z_c$  (120), соответствующее среднему уровню загрязнения и умеренно-опасной экологической ситуации (таблица 6.4.2).

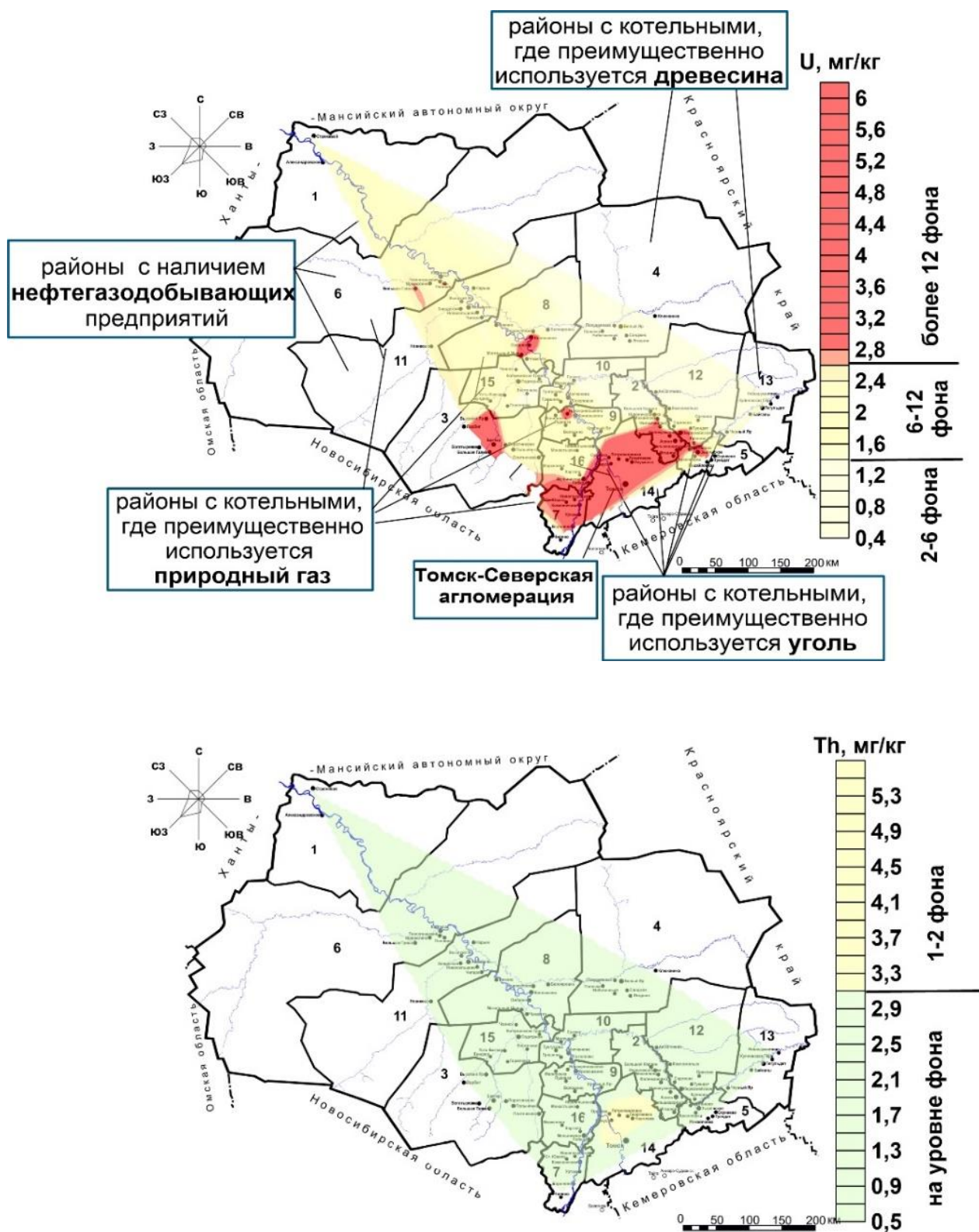


Рисунок 6.4.2. – Схемы пространственного распределения некоторых химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории Томской области (черные точки – пункты отбора проб снегового покрова; номера районов – см. рисунок 6.2.1)

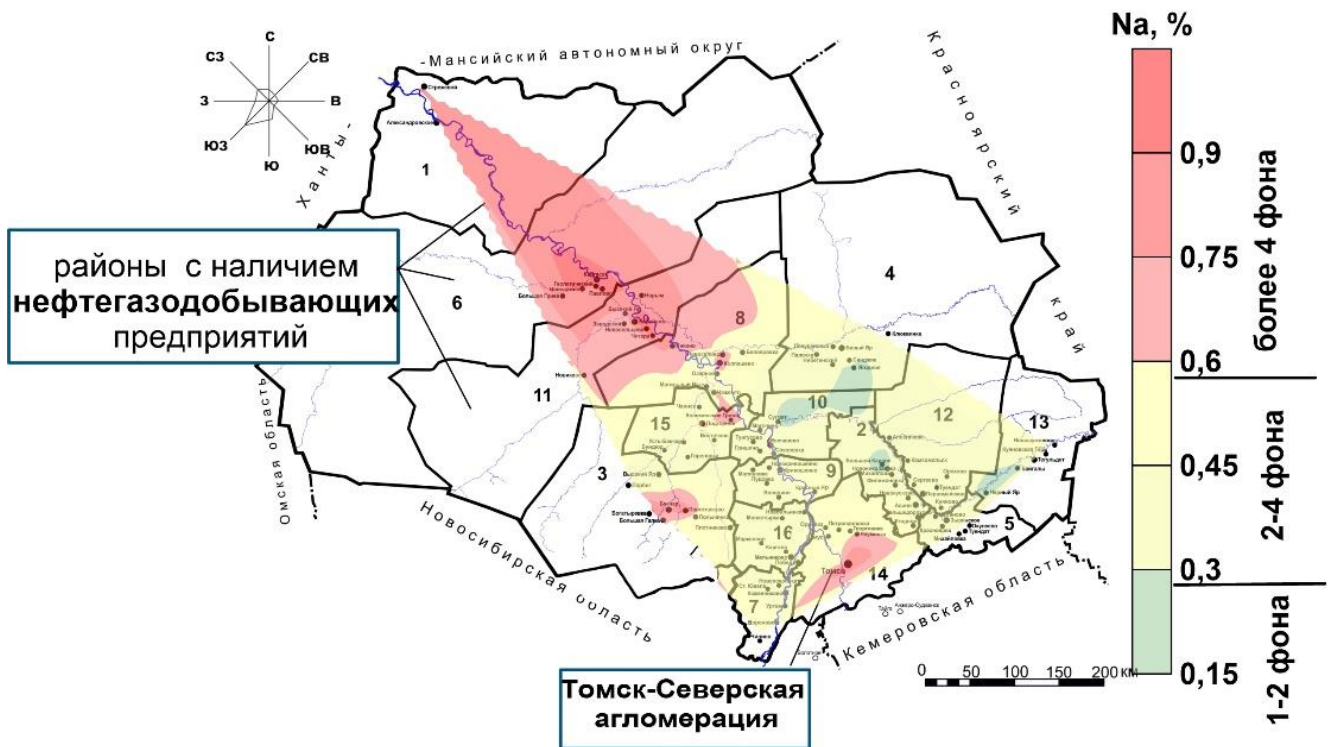
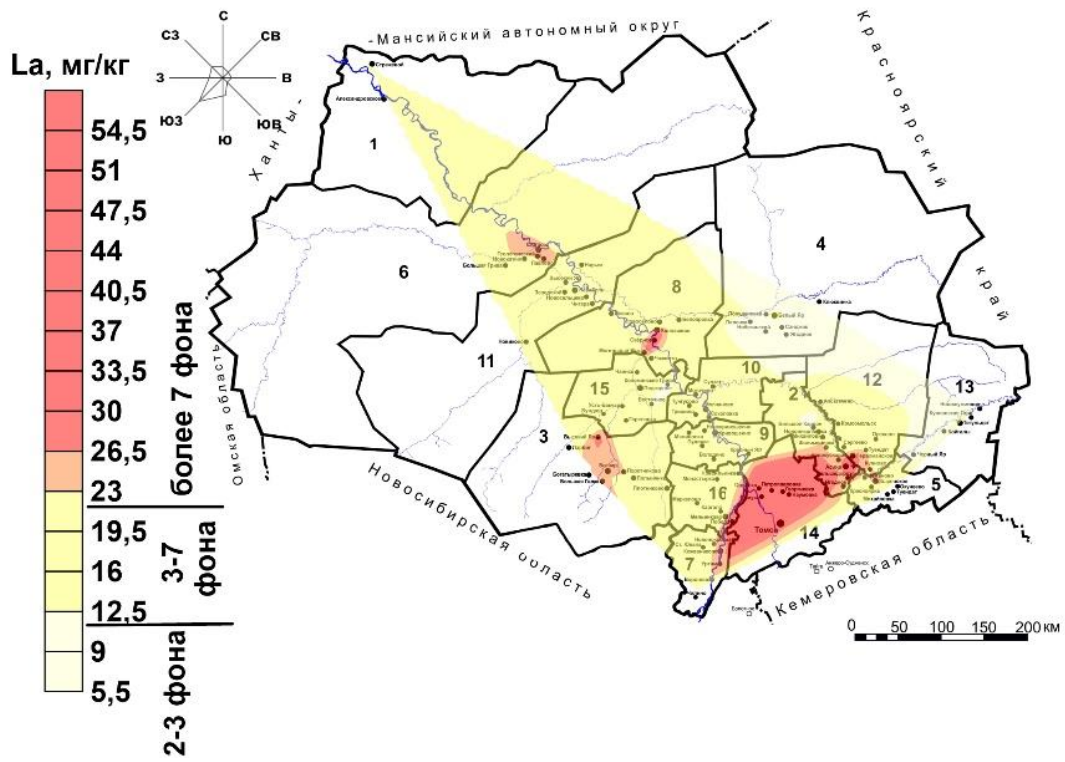


Рисунок 6.4.2. (Продолжение)

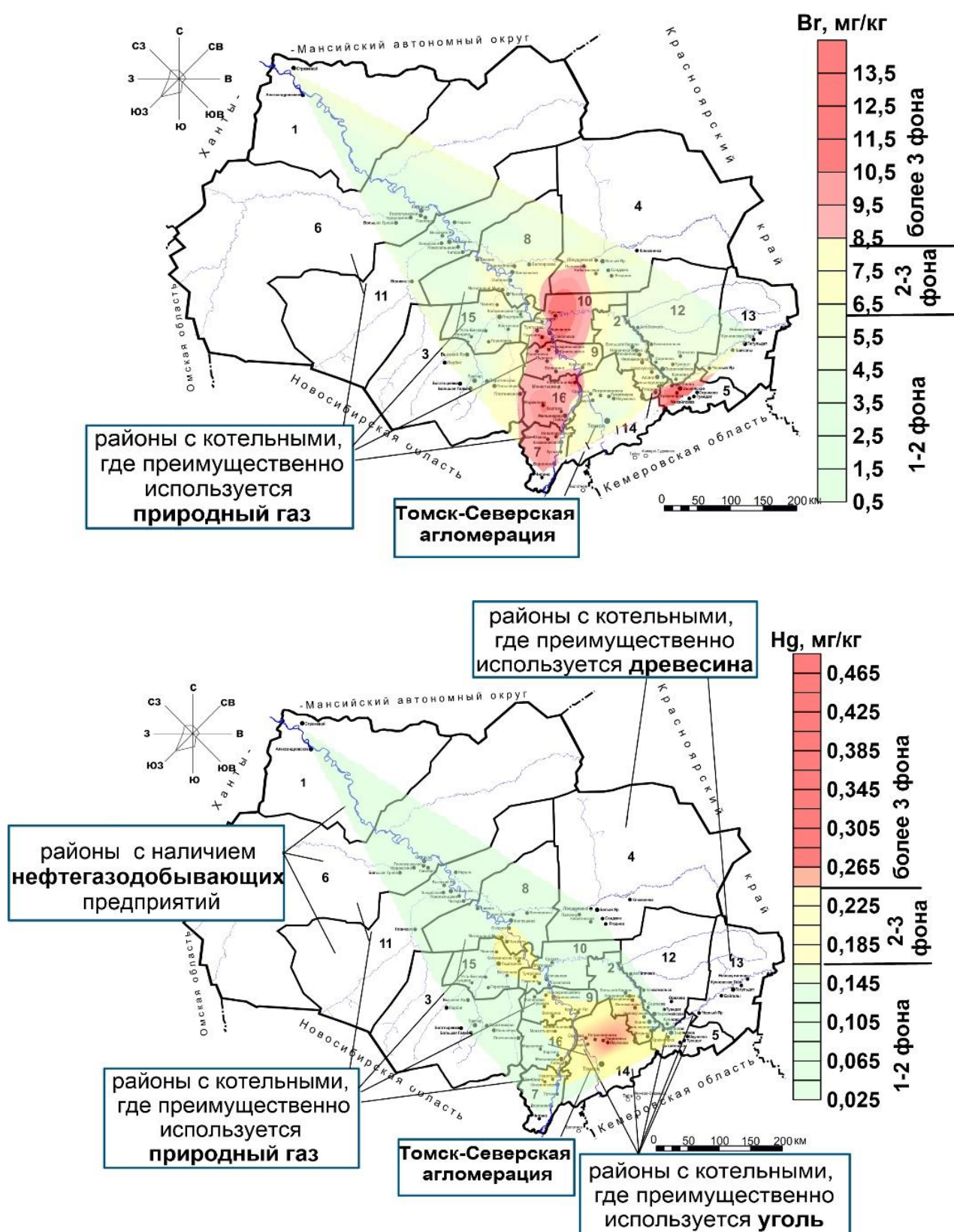


Рисунок 6.4.2. (Окончание)

Полученные данные о редкометалльной специфике нерастворимого осадка снегового покрова на территории сельских населённых пунктов Томского района согласуются с

результатами ранее проведённых исследований в этом районе, в которых показано обогащение группой рассматриваемых микроэлементов компонентов природной среды, включая снеговой покров, и биосубстратов человека за счет воздействия предприятий ядерно-топливного цикла, теплоэлектроэнергетики, нефтехимического комбината (Шатилов, 2001; Эколого-геохимические..., 2006; Рихванов и др., 2008; Язиков, 2006; Жорняк, 2009; Межибор, 2010; Барановская, 2003; 2011; Наркович, 2012). Например, типоморфными элементами в снеговом покрове, характеризующие воздействие СХК в 1990-е гг. выделены Lu, F, Zn, U, Cs (Шатилов, 2001; Язиков, 2006), а в 2009 г. – U, Th, Ba, Sr, Y, Nb, Zr, PЗЭ (Артамонова, 2014).

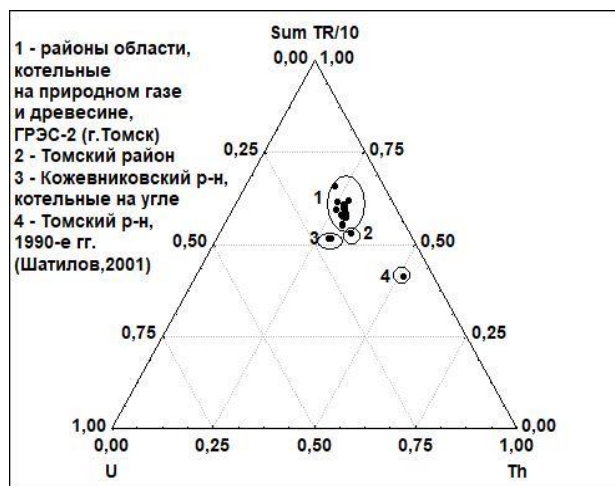


Рисунок 6.4.3. – Соотношение долей U, Th и суммы редкоземельных элементов (TR) в составе нерастворимого осадка снегового покрова на территории Томской области

Анализ динамики уровней накопления химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в населенных пунктах северо-восточного сектора Томского района с 1990-х годов по 2006–2013 гг. показал статистически достоверно значимое уменьшение в 1,5–3 раза содержания некоторых тяжелых металлов (Sr, Cr, Co, Sb, Ba,), лантаноидов (Lu, Eu), редких (Hf, Rb, Ta) Th, Na, а также увеличение в 1,5–2 раза La, Yb, U (Таловская и др., 2014). Такая динамика содержания отразилась в уменьшения доли U и Th при увеличении доли  $\Sigma$ РЗЭ в пробах за 2011–2013 года по сравнению с долями этих элементов

в пробах за 1990-е года при анализе тройной системы «U-Th- $\Sigma$ TR» (рисунок 6.4.3). Наблюдается изменение величин отношения легких (La+Ce) к тяжелым (Yb+Lu) лантаноидам и торий-уранового отношения (рисунок 6.4.4). Выявленная динамика по накоплению микроэлементов в пробах может быть связана с производственным перевооружением основных промышленных объектов в Томск-Северской агломерации (например, поэтапная остановка реакторов на СХК, делокализация или закрытие предприятий в Томске), с изменениями топливного баланса на городских объектах теплоэнергетики и природоохранными мероприятиями (Таловская и др., 2014).

Наши совместные исследования снегового покрова в 2009 г. с сотрудниками Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (г. Новосибирск) по маршрутам в северном и северо-восточном направлениях от Томск-Северской агломерации на расстоянии 30–40 км с применением математического моделирования показали, что в обоих направлениях поступление от г. Томск урана и фторидов является доминирующим, а в северном направлении содержания этих компонентов в снеге было интерпретировано как поступления от



г. Северск (Рапута, Таловская и др., 2011). Эти результаты подтверждают положения о распространении выбросов предприятий агломерации в сторону сельских населенных пунктов.

С помощью метода f-радиографии нами определены формы нахождения урана и трансураниевых элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова, отобранных в 2006 г. в сельских населенных пунктах, расположенных в северо-восточной и юго-западной зонах воздействия Томск-Северской промышленной агломерации (Таловская, 2008; Язиков и Таловская, 2013). В результате исследований определено, что в нерастворимом осадке снегового покрова на территории этих населённых пунктов делящиеся радионуклиды находятся в виде рассеянной и концентрированной формах. Рассеянная форма представлена на детекторе в виде хаотичных единичных треков от осколков деления радионуклидов (рисунок 6.4.5).

Концентрированная форма проявляется в двух видах: первый – отдельные скопления, сгустки треков, второй – радиально-лучистые скопления треков («звёзды») (рисунок 6.4.5), которые в пробах могут представлять собой присутствие «горячих частиц», поступающих с выбросами предприятий ядерно-топливного цикла. Изучение компонентов природной среды в зоне воздействия радиационно-опасных объектов методами радиографии показывает, что накопления в них «горячих» частиц хорошо проявляется на детекторе в виде «звезд» (Флеров и Берзина, 1979; Черкезян, 1994; Архангельская, 2004; Жорняк, 2009). Следует отметить, что после аварии 1993 г. на СХК в радиоактивном следе были обнаружены «горячие» частицы в компонентах природной среды (Рихванов, 1997). «Горячие частицы» с различными радиоактивными изотопами и ураново-графитовой структурой выявлены в пойме р. Енисей, в зоне воздействия Красноярского горно-химического комбината (Болсуновский и др., 1998; Гритченко и др., 2001; Закономерности..., 2004; Чугуевский, 2019).

По плотности распределения единичных треков от осколков деления радионуклидов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоны воздействия Томск-Северской агломерации определено пространственное распределение загрязнения радионуклидами. Повышенный уровень загрязнения радионуклидами характеризуется величинами более 1500 трек/мм<sup>2</sup> на детекторе, участки высокого загрязнения – более 3000 трек/мм<sup>2</sup>, а очень высокого – более 4000 трек/мм<sup>2</sup> (рисунок 6.4.6), при фоновых значениях 1146–1588 трек/мм<sup>2</sup>, что свидетельствует о комплексном воздействии предприятий теплоэлектроэнергетики и ядерно-топливного цикла.

Специфика воздействия предприятий ядерно-топливного цикла отражается в нерастворимом осадке снегового покрова в виде треков радиально-лучистого характера («звезды»). Максимум плотности скоплений треков от осколков деления радиоактивных элементов в виде «звезд» приходится на сельские населенные пункты (с.с. Поросино, Наумовка, Георгиевка), расположенные непосредственно в прямом техногенном воздействии со стороны источника воздействия Сибирского химического комбината (рисунок 6.4.6), что согласуется с данными f-

радиографии для почв (Язиков, 2006; Жорняк, 2009) и колец деревьев (Архангельская, Рихванов, 2004).

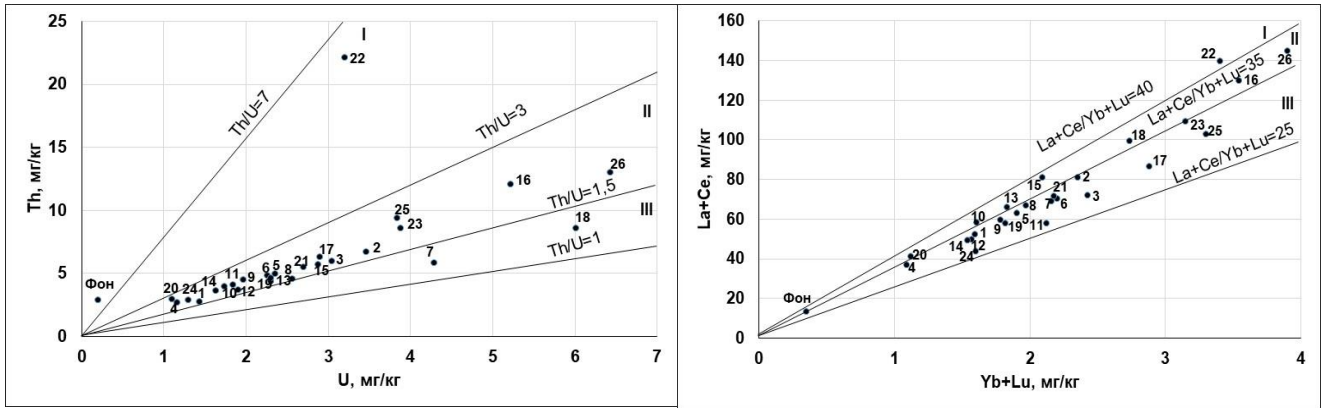
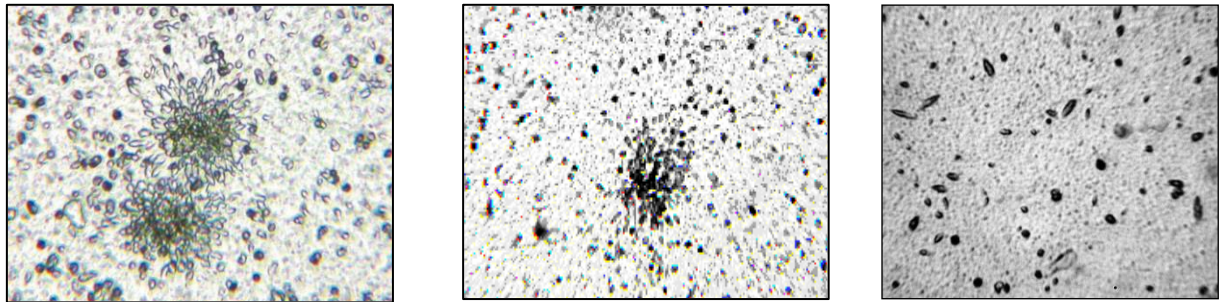


Рисунок 6.4.4. – Геохимическая типизация населённых пунктов районов Томской области по величине отношений  $Th/U$  и  $(La+Ce)/(Yb+Lu)$  в нерастворимом осадке снегового покрова (районы: 1. Александровский; 2. Асиновский; 3. Бакчарский; 4. Верхнекетский; 5. Зырянский; 6. Каргасокский; 7. Кожевниковский; 8. Колпашевский; 9. Кривошеинский; 10. Молчановский; 11. Парабельский; 12. Тегульдетский; 13. Первомайский; 14. Чаинский; 15. Шегарский; 16. Томский (населённые пункты из северо-восточной зоне от агломерации (2011–2013 гг.); 17 – г. Томск; котельные: 18 – на угле 19 – на природном газе; 20 на древесине; 21 – среднее для области; 22 – Томский (населённые пункты из северо-восточной зоне от агломерации 1990-е гг.; Шатилов, 2001, Язиков, 2006); 23 – ГРЭС-2, г. Томск (усреднение 2011-2014 гг.); 24 – нефтяное месторождение; 25 – зола уноса угольной котельной; 26 – зола уноса ГРЭС-2 г. Томск; фон – Шатилов, 2001 и Язиков, 2006)



а) радиально-лучистое скопление треков в виде «звёзд»      б) отдельные скопления треков      в) хаотичное распределение единичных треков

Рисунок 6.4.5. – Распределение на детекторе треков от осколков деления урана и трансурановых элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий Томск-Северской агломерации (микровключения (а–б) и молекулярно-рассеянная форма радиоактивных элементов (в); метод f-радиография)

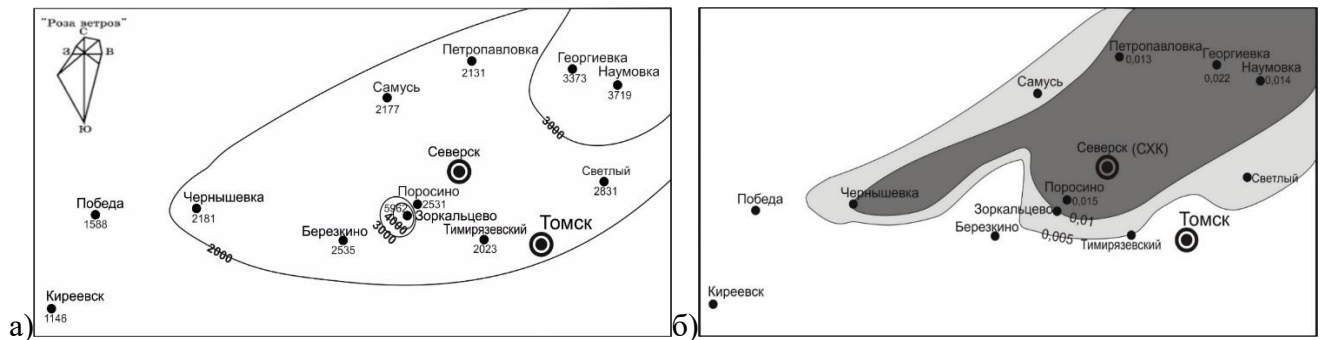


Рисунок 6.4.6. – Схема распределения плотности (а) единичных треков (трек/мм<sup>2</sup>) и (б) радиально-лучистых скоплений («звезда»/мм<sup>2</sup>) треков от осколков деления радионуклидов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия предприятий Томск-Северской агломерации (метод f-радиография)

Средняя плотность скопления треков в виде «звезд» в 2 раза выше в нерастворимом осадке снегового покрова в северо-восточной зоны, чем в юго-западной зоне.

С помощью метода f-радиографии изучения форм нахождения радиоактивных элементов в нерастворимом осадке снегового покрова и анализ пространственного характера их распределения убедительно показывает масштабы воздействия объектов теплоэнергетики и ядерно-топливного цикла на сельские поселения. *Данные результаты явились основой получения нами патента (№ 2453869) на «Способ определения загрязненности снегового покрова радиоактивными компонентами».*

С помощью селективной экстракции определяли формы нахождения изотопов  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$  в нерастворимом осадке снегового покрова, отобранные в разные периоды (2006, 2011, 2013 гг.) в населенных пунктах (сс. Наумовка, Георгиевка, Поросино), наиболее сильно подверженных техногенному влиянию предприятий Томск-Северской агломерации (таблица 6.4.4).

Изотопы  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$  преимущественно присутствуют в трудно растворимой и гидроксидной форме, а также связаны с карбонатной и органической матрицей. Долевое содержание форм изотопов урана близко к таковым в пробах, отобранных вблизи предприятия ЯТЦ и его угольной ТЭЦ. В нерастворимом осадке снегового покрова на территории сельских населённых пунктов соотношения форм изотопов урана существенно не изменялись в 2011 г., когда уже не работали реакторы на ЯТЦ (полная остановка – в 2008 г.), в сравнении с таковыми для 2006 г., в период работы трех реакторов из пяти. Также уровни накопления урана существенно не отличаются в пробах, отобранных в 2006 г. (6,0 мг/кг) и 2011 г. (5,4 мг/кг), но в 2 раза ниже таковых в пробах – в 2009 г. (3,7 мг/кг) и в 1990-х годах (3,3 мг/кг; Шатилов, 2001; Язиков, 2006).

По литературным данным, в 1990-х годах пробах снегового покрова с территории г. Северск были выявлены высокие уровни содержания изотопов урана ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ) в сравнение с таковыми для г. Томск (Язиков, 2006). В нерастворимом осадке снегового покрова за 2009 г. соотношение изотопов урана ( $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 74,28\text{--}127,315$ ) смещено в сторону обогащения  $^{235}\text{U}$ , указывая на воздействие ЯТЦ (Артамонова, 2012). Радиоактивные элементы (уран и торий) являются примесями в углях и ассоциированы с органическим веществом угля (Арбузов, 2005), поэтому уран может поступать в составе выбросов от сжигания угля. Полученные нами результаты и литературы данные указывают на источники поступления урана в сельских населенных пунктах как ЯТЦ, так и сжигание улей.

В юго-восточном районе (Асиновский) проявления техногенеза более выражены по сравнению с другими районами (за исключением Томского района) в кластере 2 (рисунок 6.4.1), поскольку на его территории расположены г. Асино, где функционируют предприятия агропромышленного, лесозаготовительного и деревообрабатывающего комплекса, а также значительное количество котельный, где преобладает уголь в топливном балансе (таблица 6.1.2).

Таблица 6.4.4 – Формы нахождения изотопов урана ( $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ ) в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия Томск-Северской агломерации

Территория исследования	Форма нахождения	Водорастворимая		Сорбированная		Связанная с карбонатами	
	Экстрагент	Milli-Q water		1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (рН 7)		1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (рН 5)	
	Изотопы	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$
ТЭЦ г. Северск (2014 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	0,1861	0,0012	2,2013	0,0161	6,0872	0,0423
	Доля, %	0,5	0,4	5,7	5,8	15,8	15,2
с. Наумовка (2006 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	0,0349	0,0003	1,0694	0,0077	6,9034	0,0548
	Доля, %	0,1	0,1	3,2	3,0	20,3	21,2
с. Наумовка (2011 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	0,0499	0,0003	0,5631	0,0036	5,8241	0,0424
	Доля, %	0,2	0,1	1,8	1,5	18,9	18,3
с. Георгиевка (2006 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	0,0350	0,0003	0,7392	0,0047	5,5086	0,0391
	Доля, %	0,1	0,1	2,3	2,0	17,2	17,2
с. Георгиевка (2011 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	0,0322	0,0002	0,8119	0,0055	6,6536	0,0519
	Доля, %	0,1	0,1	2,3	2,0	18,7	19,1
с.Поросино (2013 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	0,0475	0,0075	2,1688	0,0077	6,6874	0,0072
	Доля, %	0,1	16,4	5	16,8	15,5	15,6
Территория исследования	форма нахождения	Связанная с оксидами Fe и Mn		Органическая		Трудно растворимая	
	Экстрагент	0,04 $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ в 25% $\text{CH}_3\text{COOH}$ (рН 3)		30% $\text{H}_2\text{O}_2$ (рН 2)		$\text{HNO}_3$ конц	
	Изотопы	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$
ТЭЦ г. Северск (2014 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	13,4	0,0985	1,5	0,01	15,0	0,1
	Доля, %	35,0	35,3	4,1	3,9	39,0	39,4
с. Наумовка (2006 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	12,2	0,0897	3,8	0,02	9,8	0,0772
	Доля, %	36,1	34,6	11,3	11,3	29,0	29,8
с. Наумовка (2011 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	10,1	0,0752	3,5577	0,0300	10,6	0,081
	Доля, %	32,9	32,3	11,5	12,9	34,7	34,8
с. Георгиевка (2006 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	12,1	0,0868	2,6	0,0183	10,9	0,0787
	Доля, %	37,9	38,1	8,3	8,0	34,3	34,5
с. Георгиевка (2011 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	11,7	0,0837	5,0	0,0413	11,2	0,0885
	Доля, %	33,0	30,9	14,2	15,2	31,7	32,7
с.Поросино (2013 г.)	мкг/дм <sup>3</sup>	19,8	0,0075	2,3	0,0083	12,06	0,0075
	Доля, %	46	16,4	5,4	18,2	28	16,4

Геохимическая специфика нерастворимого осадка снегового покрова на территории юго-восточного района проявляется в высоком уровне накопления многих микроэлементов относительно фона и по сравнению с таковыми для проб из других районов области, за исключением Томского района и г. Томск (таблица 6.4.1-6.4.3). В населенных пунктах Асиновского и Томского районов установлены высокие значения среднесуточного выпадения As, U, Hg, Ba, La, Ce, Ta, Sm, Tb, Yb и Lu на снеговой покров относительно фона и значений выпадений на территорию других районов (таблица 6.4.3).

В нерастворимом осадке снегового покрова на территории Асиновского района образуются значимые геохимические ассоциации U-Co-Yb; Th-Ba-La-Sm-Sc-Hf-Lu; Sr-As, Hg-Zn, указывая на единый источник их поступления ( $r \sim 0,3-0,9$ ). Данные элементы могут отражать

геохимическую специализацию нерастворимого осадка снегового покрова в районе расположения котельных, которых только в г. Асино более 30. Например, высокие уровни концентрации U ( $K_c = 15-32$ ), Co ( $K_c = 2-3$ ) и Yb ( $K_c = 10-16$ ) определены в нерастворимом осадке снегового покрова вблизи угольных котельных г. Асино и сельских поселений (рисунок 6.4.7), указывая на то, что ассоциация U-Co-Yb обусловлена воздействием котельных.



Рисунок 6.4.7. – Среднее содержание химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населенных пунктов и в зоне воздействия котельных на угле, расположенных в юго-восточном районе (Асиновский)

Анализ минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снегового покрова показывает преобладание техногенных частиц (47–69%) над природными образованиями (31–53%). Основу техногенных частиц составляют микросферулы (3–17%), сажеподобные (18–36%), угольные частицы (10–16%), являющиеся специфичными для выбросов объектов теплоэнергетики.

Поступление микроэлементов также может быть связано с дальним переносом твердых частиц от предприятий от Томск-Северской агломерации, как было выше отмечено. Следует отметить, что в волосах детей, проживающих в Асиновском районе, определены повышенные концентрации Lu, Hf, Au, Ta относительно средних значений для Томской области (Барановская, 2011; Наркович, 2012), в почвах – высокие уровни (2–6 фонов) накопления U, Th, Lu, Yb, Cs, Ta, Tb, Rb (Эколого-геохимические ..., 2006, Перминова, 2017), свидетельствуя о долговременных источниках поступления микроэлементов.

Обращает на себя внимание статистически высокие значимые уровни накопления U в нерастворимом осадке снегового покрова на территории южного (Кожевниковский) района со слабым проявлением техногенеза относительно фона и содержания в пробах из большинства других районов области (тест Краскела-Уоллиса,  $p < 0,001$ ). Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на территории этого района также проявляется в повышенном относительно фона уровне накопления Br, Sb, Hg (таблица 6.4.1-6.4.2).

В нерастворимом осадке снегового покрова на территории района уровни концентрации U изменяются от 1,4 до 14,3 мг/кг, при среднем содержании 4,3 мг/кг. Значения коэффициентов концентрации варьируют от 7 до 71,5, при среднем  $K_c$  равном 21,5 (таблица 6.4.2). Среднее содержание урана в пробах превышает среднеобластное значение в 2 раза. По величине торий-уранового отношения ( $Th/U$  близко к 1,5) твердые частицы имеют урановую природу, тогда как из других районов области – смешенную (рисунок 6.4.4). Наиболее высокие концентрации U характерны для проб из сс. Уртам, Новопокровка и Кожевниково из данного района. В населенных пунктах, несмотря на высокие концентрации урана в нерастворимом осадке снегового покрова, не наблюдаются высокие величины среднесуточного выпадения U на снеговой покров (от 4,5 до 475, при среднем значении 75,8 мг/(км<sup>2</sup>·сут.)) (таблица 6.4.3).

Выявленные высокие концентрации урана в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населенных пунктов Кожевниковского района могут быть обусловлены несколькими причинами – влиянием местных источников и дальним трансграничным переносом твердых частиц. Во-первых, поступление урана возможно при сжигании угля на местных котельных. В пробах из населённых пунктов района выявлены значимые корреляционные связи U с Ca, Zn, Sr, Co, Cs, Eu, Th ( $r \approx 0,58-0,81$ ), которые являются элементами-индикаторами в нерастворимом осадке снега предприятий теплоэнергетики (см. раздел 6.6). Также выявлено, что в точках отбора вблизи угольных котельных содержание урана в нерастворимом осадке снега и его выпадение на снеговой покров в несколько раз выше средних значений для населенного пункта данного района (Филимоненко, 2015). Анализ минерально-вещественного состава нерастворимого осадка снегового покрова из сельских населенных пунктов Кожевниковского района показывает преобладание техногенных частиц (63%), специфичных для выбросов от сжигания природного топлива – сажеподобные и угольные (18%), шлаковые частицы (28%) и микросферулы (9%).

Во-вторых, поступление урана возможно за счет трансграничного переноса пылевых выбросов от Барлакского и Колыванского карьеров на территорию сельских населенных пунктов Кожевниковского района. Эти карьеры вскрывают гранитные массивы на территории Новосибирской области и расположены от населённых пунктов Кожевниковского района на юго-западе, на расстоянии около 100 км. Граниты и вмещающие породы (глины, дресва) Колыванского комплекса характеризуются высокими концентрациями урана и редкоземельными элементами, а граниты отнесены к высокорadioактивным и редкометалльным образованиям (Злобина, 2019). Как отмечало выше, Кожевниковский район является также дальней юго-западной зоной воздействия предприятий Томск-Северской агломерации.

Урановая специализация выявлена для различных компонентов природной среды Кожевниковского района. Установлены высокие содержания урана в водах (Рихванов, 1997), почвах (Рихванов, 1997; Кравченко, 2014, Перминова, 2017), водных растениях семейства

*Lemnoideae* (Максимова, 2014) и донных отложениях (Иванов, 2011; 2018). Вдоль южного обрамления Западно-Сибирской плиты (границы Томской и Новосибирской области) встречаются многочисленные проявления урана в торфяниках (Росляков и др., 2004). По геологическим особенностям южная периферия Западно-Сибирской плиты имеет предпосылки уранового оруденения (Шор, 1997; Домаренко и др., 2010).

В южной и юго-восточной части области, в частности на территории районов области, образующие кластер 2 на дендрограмме (рисунок 6.4.1), формируются *контрастные геохимические ореолы Hg* (рисунок 6.4.2). В нерастворимом осадке снегового покрова на территории населённых пунктов этих районов уровни концентрации Hg составляют 2–4 фона, что достоверно статистически значимо выше в сравнении с данными для других районов области. Наиболее контрастные ореолы Hg с уровнями концентрации 3–4 фонов охватывают населённые пункты южного промышленно-нагруженного района (Томский), а также юго-восточного (Асиновский) и восточного (Зырянский) районов, расположенные на расстоянии 100 км от Томск-Северской промышленной агломерации. Среднесуточное выпадение Hg на снеговой покров в южной и юго-восточной части области изменяется от 1,5 до 7 фоновых значений, с наиболее высокими значениями в населённых пунктах Томского и Асиновского районов, что связано как с высокими уровнями концентрации в пробах, так и повышенными величинами пылевой нагрузки в сравнении с другими районами области (таблица 6.4.3). В волосах детского населения, проживающего в южных районах области, уровни концентрации ртути в 4–5 раз выше среднеобластного значения (Наркович, 2012), что может указать на постоянные источники ртути в этих районах.

*Контрастные геохимические ореолы Br* расположены на территории юго-восточного (Зырянский), южных (Кожевниковский, Шегарский) и центральных (Молчановский, Кривошеинский, Колпашевский, Чаинский) районах области, для которых характерно слабое проявление техногенеза (рисунок 6.4.4, таблица 6.4.2). Средние уровни накопления Br в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населённых пунктов данных районов находятся на уровне 2–4 фонов. В данных районах преобладают котельные, использующие природный газ, а также размещены котельные, работающие на угле и нефти (таблица 6.1.2), которые влияют на поступление брома и ртути в окружающую среду, что доказано исследованиями снегового покрова в районах размещения котельных (см. раздел 6.6).

Нерастворимый осадок снегового покрова на территории юго-восточного (Зырянский), южных (Кожевниковский, Шегарский) и центральных районов (Кривошеинский, Молчановский) отличается статистически значимо высокими уровнями накопления Br по сравнению с содержанием в пробах из других районов области (тест Краскела-Уоллиса,  $p < 0,001$ ). Наиболее

высокие концентрации (3–4 фона) характерны для нерастворимого осадка снегового покрова на территории Зырянского, Молчановского и Кривошеинского районов.

В населённых пунктах Зырянского района распределение Вг в нерастворимом осадке снегового покрова изменяется от 3,0 до 29,1 мг/кг (рисунок 6.4.2), при среднем содержании – 12,3 мг/кг, что превышает фон в 4 раза (таблица 6.4.2). Наиболее контрастные геохимические ореолы Вг охватывают сс. Красноярка, Зырянка, Михайловка, Окунеево (рисунок 6.4.2). Среднесуточное выпадение Вг на снеговой покров на территорию Зырянского района изменяется от 44,7 до 875, при среднем значении 181 мг/(км<sup>2</sup>·сут.), что выше фона в 9 раз. В пробах с территории Зырянского района проявляется концентрирование Hg и Sb на уровне 2 фонов.

Содержание Вг в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населённых пунктов Молчановского района изменяется от 2,3 до 16,8 мг/кг (рисунок 6.4.2), средняя величина – 10,5 мг/кг, что составляет среднее значение  $K_c$  равное 3,6 (таблица 6.4.2). В населённых пунктах Кривошеинского района содержание Вг в пробах нерастворимого осадка снега варьирует от 4,1 до 14,1 мг/кг (рисунок 6.4.2), при среднем содержании – 8,7 мг/кг, соответственно значение  $K_c$  – от 1,4 до 4,9, при среднем  $K_c$  равном 3. Наиболее контрастные ореолы Вг расположены в сс. Кривошеино, Малиновка и Ново-Кривошеино. Среднесуточное выпадение Вг на снеговой покров на территорию Молчановского и Кривошеинского районов изменяется от 20,5 до 262, при среднем 99,7 и от 20,2 до 404, при среднем 94,1, при фоне 20,3 мг/(км<sup>2</sup>·сут.) (таблица 6.4.3).

Нерастворимый осадок снегового покрова на территории населённых пунктов центральных (Кривошеинский и Молчановский), юго-восточного (Зырянский) и южных (Кожевниковский и Шегарский) районов области, характеризуется высоким Вг/Na отношением (таблица 6.4.1). Это также находит свое отражение на тройной диаграмме (рисунок 6.4.8), на которой отчетливо видна повышенная доля Вг (50–60 %) в нерастворимом осадке снегового покрова на территории этих районов по сравнению с долями Вг для проб из других районов области.

Установлены повышенные концентрации Вг (9–15 фонов) в почвах рассматриваемых районов области (Перминова, 2017). В составе волос детей и патологически измененной щитовидной железе людей, проживающих в Молчановском и Кривошеинском районах, концентрирование Вг более чем в 2 раза, а в патологически измененной щитовидной железе людей, проживающих в Зырянском районе – в 10 раз выше регионального уровня (Рихванов и др., 2008; Барановская, 2011; Барановская и др., 2011; Наркович, 2012). Бромная специализация почв и биосубстратов людей может свидетельствовать о постоянном источнике Вг в районах.

*В кластере 3 на дендрограмме (рисунок 6.4.1) обращает на себя внимание корреляционная связь проб из южного (Бакчарский) и центрального (Колпашевский) районы. Это может быть объяснено близким геохимическим спектром элементов в нерастворимом осадке снегового покрова за счет воздействия схожих техногенных источников (местные котельные). Следует*



отметить, что в эти районы характеризуются железорудным проявлением (Геологическое ..., 1999). Выявлено статистически значимо высокое (тест Краскела-Уоллиса,  $p < 0,001$ ) накопление As (на уровне 2 фонов) в нерастворимом осадке снегового покрова на территории этих районов по сравнению с содержанием в пробах из других районов области. В пробах из Бакчарского района выявлены значимые корреляционные связи As с Hg, Zn, Sb ( $r \approx 0,45-0,55$ ), которые являются элементами-индикаторами в пробах из зоны воздействия котельных (раздел 6.6). Ранее проведенные исследования нерастворимого осадка снегового покрова в некоторых населенных пунктах Бакчарского района показали концентрирование As в пробах на уровне 6,6 мг/кг (Шайхиев, 2017), что ниже наших данных в 2 раза. Нами установлены уровни концентрации Fe на уровне фоновых значений в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населённых пунктов Бакчарского и Колпашевского районов (таблица 6.4.1).

Низкие значения содержания Fe относительно среднеобластных показателей получены для накипи (Монголина, 2011) и для волос детей, проживающих в Бакчарском районе (Наркович, 2012). Хотя, в подземных водах железорудного месторождения различных отложений (четвертичные, неогеновые, палеогеновые) концентрация Fe повышенная и высокая (Лепокурова и Иванова, 2011). Установленные фоновые концентрации As и Fe в снеговом покрове в районе локализации железорудного узла в Бакчарском районе указывало, что геохимические особенности железной руды не отражались в составе снегового покрова (Шайхиев, 2017).

В населенных пунктах северных районов области (Александровский, Парабельский, Каргасокский), образующие кластер 1 на дендрограмме (рисунок 6.4.1), выявлена локализация контрастных геохимических ореолов Na (рисунок 6.4.2). Установлены статистически высокие уровни накопления Na (5–6 фонов) в нерастворимом осадке снегового покрова из северных районов (таблица 6.4.2), подвергаемых воздействию нефтегазодобывающих предприятий, по сравнению с таковыми для проб из других районов области (тест Краскела-Уоллиса,  $p < 0,001$ ).

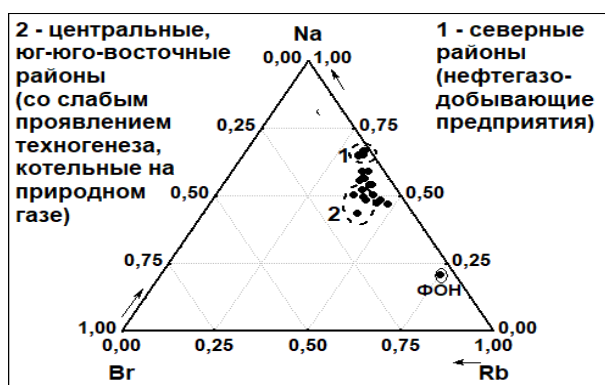


Рисунок 6.4.8. – Тройная диаграмма соотношения элементов «Na-Rb-Br» в нерастворимом осадке снегового покрова из населенных пунктов Томской области

Населенные пункты северных районов отличаются также высокими уровнями среднесуточного выпадения Na на снеговой покров, значительно превышающие фоновые значения – от 16 до 30 раз (таблица 6.4.3). Для нерастворимого осадка снегового покрова на территории населённых пунктов и нефтяного месторождения северных районов характерно пониженное Br/Na отношение (таблица 6.4.1), что также хорошо видно по долевым распределению элементов в системе «Na-Br-Rb»

– высокий процентный вклад Na (70%) при 70% доли Rb и уменьшении доли Br (~ 30%) (рисунок 6.4.8).

В нерастворимом осадке снегового покрова относительно фона вблизи объектов нефтяного месторождения выявлены высокие концентрации Na – на уровне от 2 до 10 фонов и величины его выпадения на снеговой покров – от 2 до 63 фонов (рисунок 6.4.8, таблица 6.4.5). В пробах из зоны воздействия факелов эти показатели более высокие. Среднее содержание Na в нерастворимом осадке снегового покрова на территории нефтяного месторождения выше среднего значения для области в 2 раза.

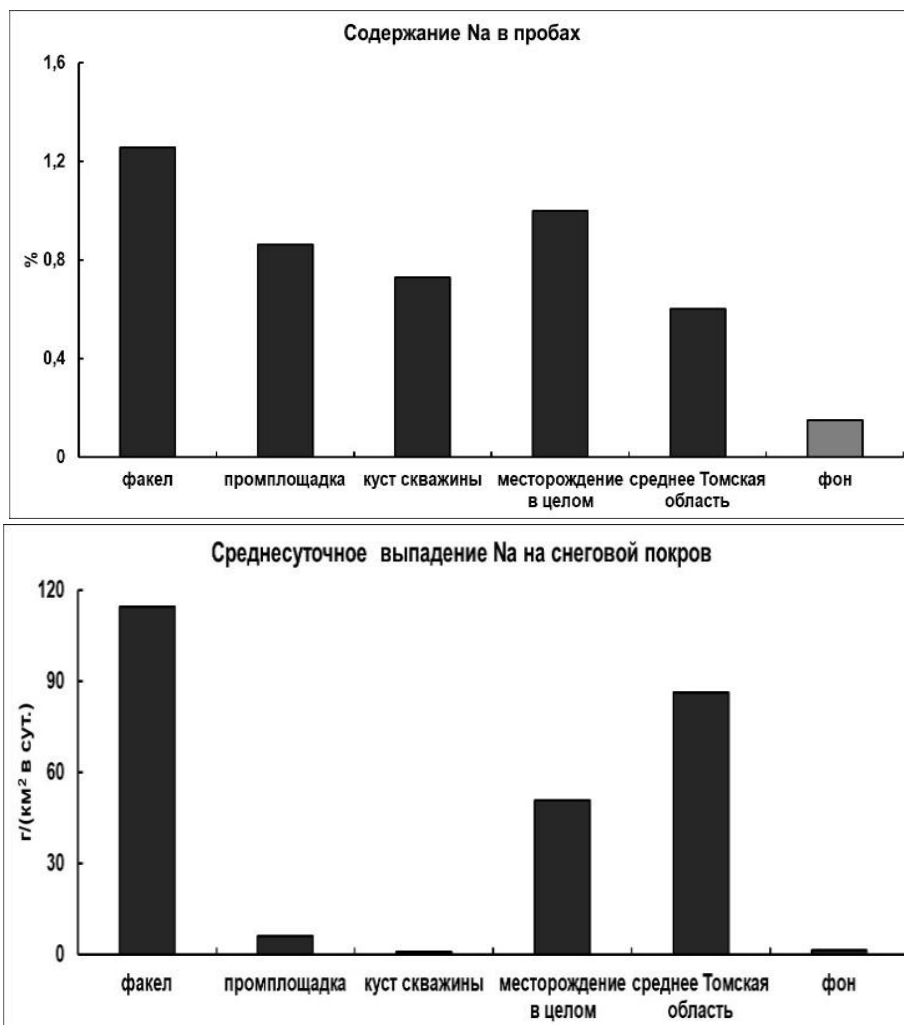


Рисунок 6.4.9. – Содержание Na в нерастворимом осадке снегового покрова и среднесуточное выпадение Na на снеговой покров на территории нефтяного месторождения (фон – Шатилов, 2001; Язиков, 2006)

Накопление Na в снеговом покрове происходит во время разработки и эксплуатации нефтяных месторождений, приводящие к поступлению Na в окружающую среду. Так, пластовые и подземные воды месторождений Томской области – это высокоминерализованные растворы солей натрия (2–7909 мг/л), магния и кальция (Шамолина и Назаров, 1975; Назаров, 2004; Зибарева, 2012).

Таблица 6.4.5. – Уровни концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова относительно фона на территории нефтяного месторождения

Объект	Уровни коэффициентов концентрации ( $K_c$ )		$Z_c$
	10–5	5–2	
Факел	Na, La, Sm, Tb, Yb, U	Ba, Sr, Br, Ce, Ta	53
Промплощадка	Na	Ba, La, Sm, Ce, Tb, Yb, U	28
Куст скважины	-	Na, Ca, Ba, La, Ce, Sm, Tb, Yb, U	28
Месторождение в целом	Na, Sm, Tb, U, Yb	Br, Ba, La, Ce, Ta	40

Содержание Na в шлейфах выбросов нефтяных и газовых факелов на Западно-Сибирских месторождениях находится в диапазонах 10,5–18,3 и 3,6–5,2 мкг/м<sup>3</sup>, соответственно (Симоненков, 2015). Натрий в высоких концентрациях содержится в буровых растворах (Иванов, 1997), а также в буровых шламах (1,1 %) и в их технологических добавках (1,9%) на месторождениях Томской области (Климова др., 2020). На территории нефтегазодобывающих месторождений Томской области в пробах талой снеговой воды зафиксированы повышенные концентрации Na (0,29 мг/л), а также Na обнаружен в составе лишайников (0,032%) (Большунова, 2015). В нерастворимом осадке снегового покрова Na выделен как специфичный элемент для нефтегазодобывающих районов (Шатилов, 2001; Язиков, 2006). В патологически измененной щитовидной железе людей, проживающих в Александровском и Парабельском районах, концентрации Na превышали в 3–4 раза региональный уровень (Рихванов и др., 2008).

*Таким образом, по результатам эколого-геохимического районирования территории Томской области по уровням накопления 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова выделены три наиболее контрастно проявленных техногенных геохимических субпровинций разного генезиса и локализации: полиэлементная с ассоциацией U-Th-лантаноиды-Ta-Hf-Cs-Rb-Sc-Hg-Sr-Ba в южных и юго-восточных районах области, характеризующихся повышенной пылевой нагрузкой и воздействием предприятий Томск-Северской агломерации и угольной теплоэнергетики; ртутно-бромная – в центральных, юго-восточных и южных районах, где основное воздействие оказывают объекты теплоэнергетики; натриевая – в северных районах, подвергаемых воздействию нефтегазодобывающих предприятий. Особенности характера распределения урана и трансурановых элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне влияния Томск-Северской промышленной агломерации позволили получить патент на изобретение № 2453869 «Способ определения загрязненности снегового покрова радиоактивными компонентами».*

### **6.5. Факторная модель распределения уровней концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории области**

Для определения пространственного распределения химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории Томской области и выявления источников формирования геохимических субпровинций выполнен факторный анализ (метод главных

компонент). В выборку включали содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова с городских территорий (Томск, Асино, Стрежевой, Колпашево), сельских населенных пунктов, из зоны выбросов местных котельных, использующих различные виды топлива (уголь, природный газ, древесина, нефть), а также с территории нефтяного месторождения.

По критерию оценки значимости собственных значений по тесту Каттелла («критерий каменной осыпи»), сохранение собственных значений дисперсии больше 1) выделены 7 основных факторов (рисунок 6.5.1). Действие семи факторов в сумме объясняет более 81,8% общей дисперсии содержаний химических элементов в составе нерастворимого осадка снегового покрова. В таблице 6.5.1 представлены факторные нагрузки элементов со значением более 0,5. Некоторые элементы (Hg, Zn, Co, Ba, Sr, Rb) имеют близкие значения коэффициентов корреляции с двумя факторами, вероятно свидетельствуя об их двойственной природе.

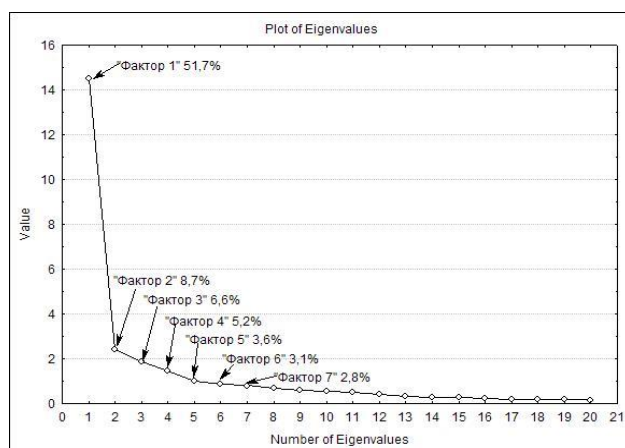


Рисунок 6.5.1. – Кривая вкладов факторов в общую дисперсию распределения химических элементов в нерастворимом осадке снега на территории населенных пунктов Томской области

Схожие закономерности в объединении элементов, отмечались при выполнении кластерного и корреляционного анализа, когда данные элементы образовали также полиэлементную ассоциацию U-Th-редкоземельные-редкие элементы-Hg и ассоциацию щелочноземельных элементов Sr и Ba (рисунок 6.3.2). В рамках данного спектра элементов выделяются элементы-загрязнители снегового покрова, поскольку содержание многих элементов более чем в 2 раза превышает фоновые концентрации и кларк земной коры (рисунок 6.3.3, таблица 6.3.3). Деконцентрирование выявлено только для некоторых элементов (Sc, Rb, Cs, Nd, Eu, Co).

Высокая выраженность фактора 1 с полиэлементной ассоциацией наблюдается в южных (Томский, Бакчарский, Кожевниковский, Шегарский) и юго-восточном (Асиновский) районах области, включая промышленно-нагруженные и со слабовыраженным техногенезом (рисунок 6.5.3). В качестве техногенных источников выделенной полиэлементной ассоциации элементов в сельских населенных пунктах районов можно рассматривать местные котельные, что

*Фактор 1* является доминирующим и обуславливает 51,7% дисперсии распределения содержания химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова (рисунок 6.5.2). Этот фактор включает редкие (Sc, Rb, Cs, La, Ce, Nd, Ta, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu), радиоактивные элементы (U, Th), тяжелые металлы 1, 2 и 3 класса опасности (Hg, Co, Ba, Sr).

подтверждается проявлением фактора 1 в зоне выбросов угольных котельных. В районах области, в которых проявление фактора 1 наиболее контрастно, сосредоточено большее количество угольных котельных (рисунок 6.1.5, таблица 6.1).

Доказательством, что местные котельные вносят свой вклад в накопление химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова в населенных пунктах районов области, являются результаты наших исследований в зоне воздействия котельных, использующие различные виды топлива (раздел 6.6). Также подтверждением влияния выбросов котельных на формирование аэрозольного загрязнения населённых пунктов области представляют результаты изучения минерально-вещественного состава проб нерастворимого осадка снегового покрова, в которых обнаружено содержание на уровне 35–55% продуктов сжигания топлива (сажеподобные, угольные, зола и шлак, микросферы).

Таблица 6.5.1 – Факторные нагрузки химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населенных пунктов Томской области

Эл-т	фактор 1	фактор 2	фактор 3	фактор 4	фактор 5	фактор 6	фактор 7
Na	0,22	0,15	<b>0,87</b>	0,15	0,14	-0,11	-0,07
Ca	0,19	<b>0,50</b>	0,39	0,26	-0,18	0,19	0,31
Fe	0,32	<b>0,62</b>	0,20	-0,12	0,32	0,40	-0,07
Hg	<b>0,53</b>	-0,09	-0,06	0,04	-0,02	<b>0,74</b>	0,04
As	0,15	<b>0,83</b>	0,04	0,08	0,03	-0,17	0,14
Zn	-0,03	0,17	0,02	0,14	<b>0,47</b>	0,29	<b>0,59</b>
Sb	0,03	0,19	0,15	<b>0,77</b>	0,13	0,0004	0,15
Co	<b>0,61</b>	<b>0,64</b>	0,08	0,06	0,06	-0,005	0,23
Cr	0,07	0,07	0,02	0,18	<b>0,87</b>	-0,03	0,08
Ba	<b>0,67</b>	0,12	0,07	-0,02	0,15	0,11	<b>0,55</b>
Sr	<b>0,49</b>	0,26	0,001	-0,07	-0,02	-0,17	<b>0,68</b>
Sc	<b>0,90</b>	0,26	0,16	0,03	0,09	0,003	0,12
Br	0,002	-0,06	<b>-0,72</b>	0,30	0,26	-0,15	-0,23
Rb	<b>0,65</b>	-0,10	<b>0,54</b>	-0,08	0,20	-0,01	-0,14
Cs	<b>0,90</b>	-0,07	-0,02	0,01	0,08	0,19	0,04
La	<b>0,92</b>	0,24	0,00	0,01	-0,01	0,10	0,10
Hf	<b>0,90</b>	0,02	0,24	-0,03	0,06	0,02	0,02
Au	-0,10	-0,07	-0,16	<b>0,75</b>	0,16	0,03	-0,15
Ce	<b>0,79</b>	0,15	0,00	0,03	-0,01	0,18	0,03
Nd	<b>0,85</b>	0,10	0,07	-0,01	0,06	0,02	0,19
Ta	<b>0,89</b>	0,09	0,10	0,02	-0,05	0,12	0,06
Sm	<b>0,95</b>	0,14	0,08	-0,04	-0,01	0,05	0,07
Eu	<b>0,86</b>	0,19	0,13	-0,02	0,01	-0,01	0,13
Tb	<b>0,89</b>	0,13	0,08	-0,03	0,03	0,07	-0,02
Yb	<b>0,92</b>	0,12	0,22	0,02	0,05	0,06	0,06
Lu	<b>0,96</b>	0,11	0,18	0,00003	0,04	0,07	0,04
Th	<b>0,95</b>	-0,01	-0,08	-0,02	-0,02	0,14	0,08
U	<b>0,82</b>	0,19	-0,18	-0,002	-0,02	-0,06	0,22
Вес фактора	51,7	8,7	6,6	5,2	3,6	3,1	2,8

жирный шрифт – нагрузки со значением >0,5 (коэффициент корреляции для каждого элемента в факторе)

Техногенным фактором, который ярко выражен в г. Томске и в сельских населённых пунктах Томском районе, является влияние предприятий Томск-Северской агломерации. Установлены элементы-индикаторы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия объектов этой агломерации: U, Lu, Yb, La, Eu, Cs –Сибирского химического комбината (Шатилов, 2001; Язиков, 2006), Sc, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, U, Th, Hg, Ba, Sr – Томской ГРЭС-2 (Язиков, 2006; Таловская, 2008; Филимоненко, 2015), Sc, Hf, La, Ce, Tb, Yb, Ba – кирпичных заводов г. Томск (Филимоненко, Таловская и др., 2013). Как отмечалось в разделах 6.3-6.4, согласно ранее проведенным работам, выбросы предприятий агломерации могут распространяться на расстояние 100–120 км от нее в север-северо-восточном и юго-западном направлении, достигая населенные пункты районов, территориально близко расположенных к Томскому району, например, Асиновский и Кожевниковский районы.

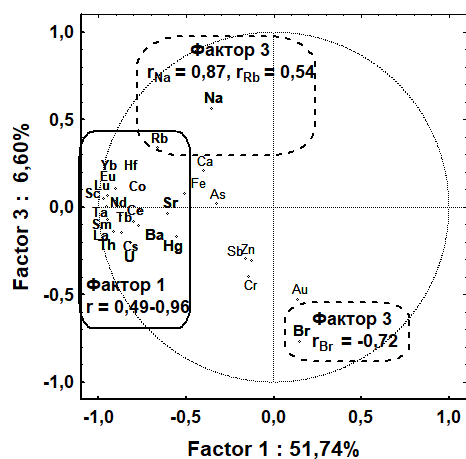


Рисунок 6.5.2. – Диаграмма факторных нагрузок (фактор 1 и 3) распределения химических элементов в нерастворимом осадке снега на территории населенных пунктов Томской области

является одним из источников поступления данной группы элементов в населенных пунктах области. Высокие концентрации As (на уровне 2 фонов) были выявлены пробах с территории Бакчарского и Колпашевского районов. Поступление Fe и Co может быть связано с выбросами промышленных объектов. Кобальт и железо являлись характерными элементами для выбросов промышленности Томска (Бояркина, 1993). Железо определен как типоморфный элемент в снеговом и почвенном покровах в зоне влияния предприятий машиностроения и металлообработки г. Томск (Язиков, 2006). Нами определено накопление Fe на уровне 2–9 фонов в районе расположения асфальтобетонного и нефтеперерабатывающего заводов в г. Стрежевой (Александровский район).

*Фактор 3* образует положительную значимую корреляционную связь с Na и Rb, а с Br – статистически значимую отрицательную связь, которая может указывать на смешенную природу

*Фактор 2*, объединяющий Ca, Fe, As, Co, отвечает за 8,7% дисперсии (таблица 6.5.1). Данные элементы образуют геохимическую ассоциацию в пробах Томской области (рисунок 6.3.3). Фактор 2 интенсивно проявляется в зоне выбросов угольных котельных, в г. Томск, а также в северных (Каргасокский, Александровский и Парабельский) и центральном (Колпашевский) районах. Фактор менее выражен в южном (Бакчарский) районах области в зоне выбросов котельных, использующих древесину. Проявление фактора 2 в зоне воздействия котельных может указывать, что сжигание угля и древесины

брома (таблица 6.5.1, рисунок 6.5.2). Влияние фактора 3 на данную ассоциацию элементов оценивается в 6,6%. На дендрограмме корреляционной матрицы  $V_r$  занимает обособленное положение и в то же время объединяется с ассоциацией Sb-Au (рисунок 6.3.1), вероятно указывая на разные источники его поступления. Фактор 3 наиболее сильно выражен в населенных пунктах северных районах области (Александровский, Парабельский и Каргасокский) с наличием нефтегазодобывающих предприятий (рисунок 6.5.3).

Проявление фактора 3 на территории нефтяного месторождения (Александровский район) указывает на формирование геохимической специфики нерастворимого осадка снегового покрова в северных районах области за счет влияния нефтегазодобывающих предприятий. На территории г. Томск проявление фактора 3 в большей степени связано с антигололедными мероприятиями. Натрий является одним из главных компонентов используемой для посыпки дорог песко-соляной смеси и может накапливаться в снеговом покрове при выдувании антигололедных средств (Касимов и др., 2014, 2016).

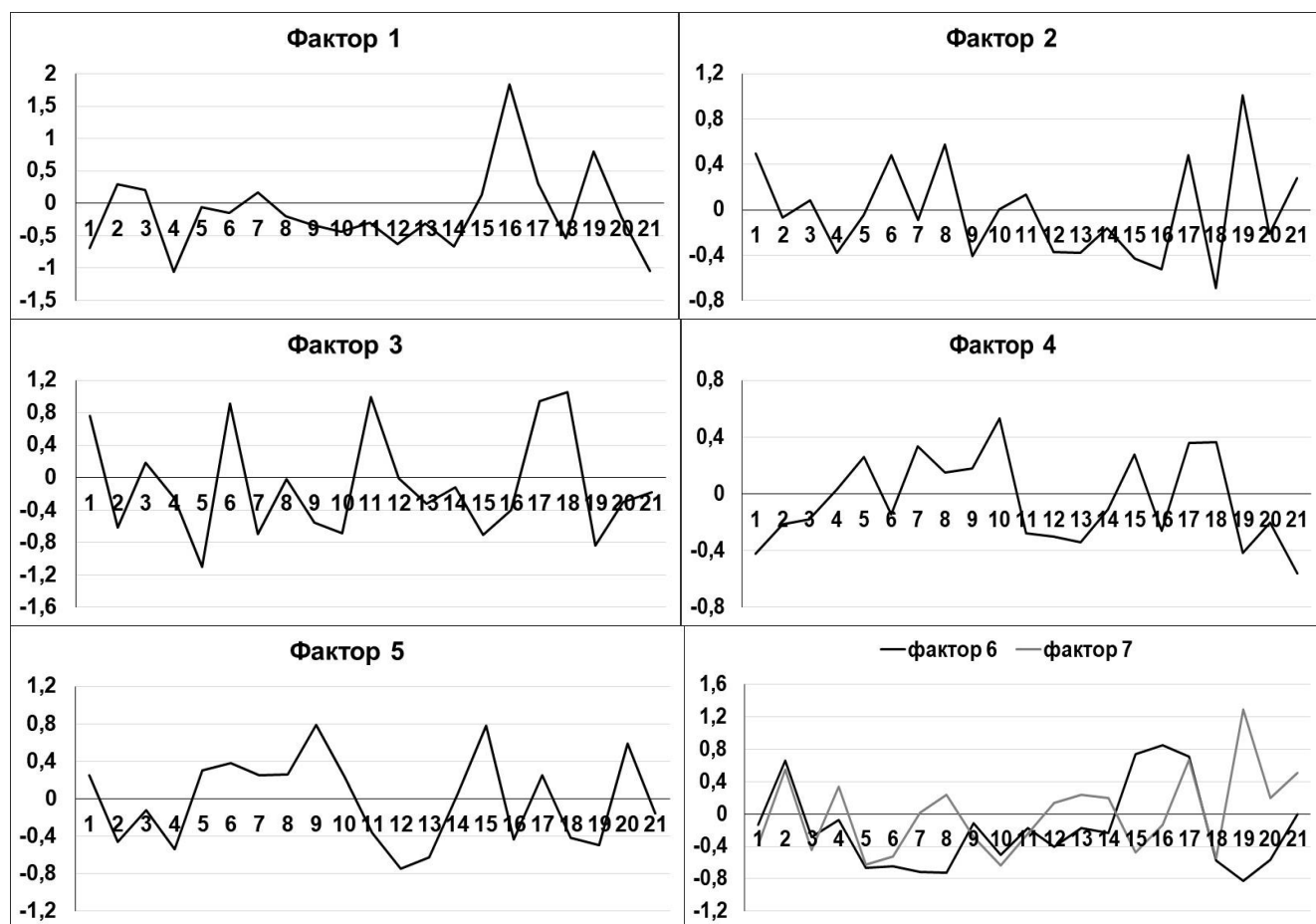


Рисунок 6.5.3. – Значения факторных переменных по каждому наблюдению для 7-факторной модели выборки химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населенных пунктов Томской области

(районы: 1. Александровский; 2. Асиновский; 3. Бакчарский; 4. Верхнекетский; 5. Зырянский; 6. Каргасокский; 7. Кожевниковский; 8. Колпашевский; 9. Кривошеинский; 10. Молчановский; 11. Парабельский; 12. Тегульдетский; 13. Первомайский; 14. Чаинский; 15. Шегарский; 16. Томский; 17 – г. Томск; 18 – нефтяное месторождение; котельные: 19 – на угле; 20 – на природном газе; 21 – на древесине)

*Фактор 4*, влияющий на 5,2% дисперсии содержания химических элементов, объединяет Sb и Au (таблица 6.5.1), которые также образуют значимые корреляционные связи по данным корреляционного и кластерного анализов (рисунок 6.3.3). На юго-востоке области, включая г. Томск, выявлены высокие значения факторных переменных (рисунок 6.5.3). Ассоциация Sb-Au на территории области отмечена в работах по изучению углей Западной Сибири (Арбузов, 2009), торфов (Смолянинов, 1990; Бернатонис, 2002; Межибор, 2009), волос детского населения (Барановская, 2011; Наркович, 2012), накипи чайников (Монголина, 2011). Сурьмяное и золоторудное проявление характерно для южной части области (Парначев, 2010).

Нагрузка Cr высокая в *факторе 5*, который составляет 3,6%. К данному фактору также слабо тяготеет Zn (таблица 6.5.1). Ассоциация Zn-Cr была определена по результатам кластерного анализа в нерастворимом осадке снегового покрова на территории области (рисунок 6.3.3). 3,1% дисперсии содержаний элементов в нерастворимом осадке снегового покрова объясняется действием *фактора 6*, который включает элемент с высокой миграционной подвижностью – Hg. Наиболее сильно проявляется фактор 6 в южных (Шегарский, Томский, г. Томск) и юго-восточном (Асиновский) районах (рисунок 6.5.3). *Фактор 7* включает щелочноземельные элементы с близким поведением Ba и Sr, и халькофильный Zn, и влияет на 2,1% дисперсии. Интенсивное проявление этого фактора в зоне влияния угольных котельных (рисунок 6.5.3), свидетельствует о поступлении этих элементов за счет сжигание угля.

*Таким образом, использование факторного анализа позволило определить особенности формирования геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова на территории районов области с различными условиями техногенеза, а также подтвердить локализацию выявленных техногенных геохимических субпровинций на территории области.*

#### **6.6. Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия локальных объектов теплоэнергетики в области**

В зимний период сжигаются максимальные объёмы топлива на локальных объектах теплоэнергетики (котельные), в результате поступающие в атмосферный воздух пылегазовые эмиссии распространяются и оседают в снеговой покров, создавая техногенную нагрузку на территорию населенных пунктов Томской области. В качестве объектов для исследования выбраны котельные, отличающиеся видами топлива (уголь, природный газ, древесина, нефть) и расположенные в различных районах области. Выполнялся анализ содержания 27 химических элементов в пробах нерастворимого осадка снегового покрова методом ИНАА, а Hg – ААСМ. Также выполнены исследования методом ИСП-МС состава проб на спектр тяжелых металлов, что позволило расширить список специфичных элементов для проб.

Прослеживается закономерность в формировании геохимических ореолов микроэлементов в районах области в зависимости от видов используемого топлива на местных объектах



теплоэнергетики (рисунок 6.4.2). Районы области отчётливо дифференцируются по геохимическим особенностям нерастворимого осадка снегового покрова в зависимости от преобладающих видов топлива, используемых на локальных котельных (рисунок 6.6.1).

Определена геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия котельных, использующих различные виды топлива на основе характерных значений коэффициентов концентрации, коэффициентов превышения выпадений элементов над фоном, сравнение выборок непараметрическими критериями (тест Краскела-Уоллиса) и в сравнении со средне-областными значениями (таблица 6.6.1–6.6.3).

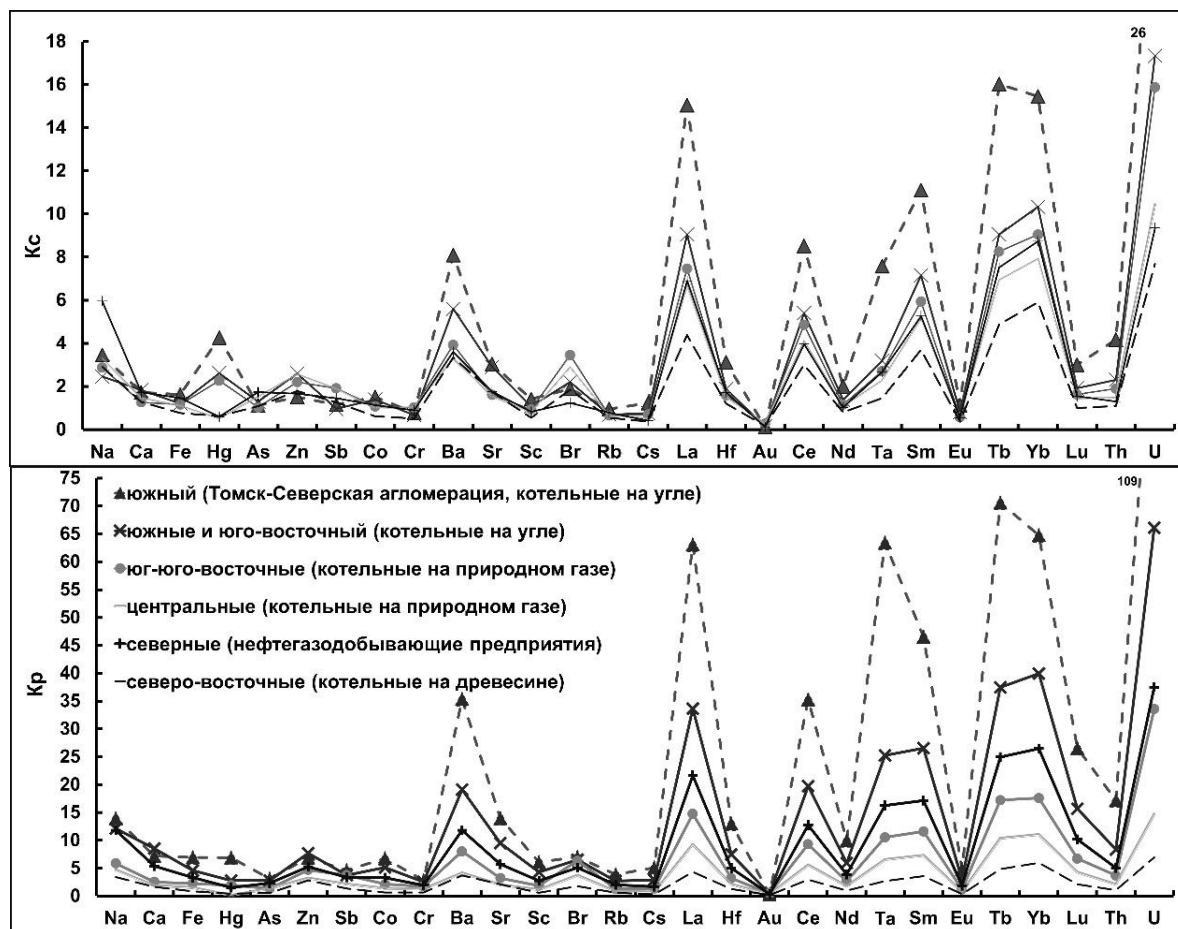


Рисунок 6.6.1 – Геохимическая характеристика нерастворимого осадка снегового покрова на территории сгруппированных районов Томской области по преобладающим видам топлива на локальных котельных ( $K_c$  – коэффициент концентрации;  $K_p$  – коэффициент превышения выпадений над фоном)

Сравнительный анализ содержания 28 химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях изучаемых котельных показал, что содержание Ca и Sr незначимо отличаются в пробах из зоны влияния котельных на угле и древесине, Br – котельных на угле и на природном газе (тест Краскела-Уоллиса,  $p > 0,1$ ). Уровни накопления As, Co, Ba, Sc, Cs, La, Hf, Ce, Nd, Eu, Tb, Yb, Lu, Th, Ta, Sm, U в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях котельных на угле статистически значимо высокое по сравнению с содержанием в пробах из окрестностей котельных, использующие другие виды топлива (тест Краскела-Уоллиса,

$p < 0,001$ ). Выявленные различия в содержании элементов в нерастворимом осадке снегового покрова отражается также в значениях коэффициентов концентрации (таблица 6.6.1).

Таблица 6.6.1. – Уровни концентрации химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия котельных, использующих различные виды топлива на территории Томской области

Элемент	Котельные								Среднее для Томской области	
	на угле		на природном газе		на древесине		на нефти**			
	С, мг/кг	К <sub>с</sub>	С, мг/кг	К <sub>с</sub>	С, мг/кг	К <sub>с</sub>	С, мг/кг	К <sub>с</sub>		С, мг/кг
Na*	0,4	2,9	0,5	3,0	0,3	2,1	–	–	0,6	
Ca*	<b>1,7</b>	<b>2,1</b>	1,1	1,3	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>	–	–	1,4	
Fe*	2,7	1,4	2	1,1	3,4	1,8	2,4	1,8	2,4	
Hg	0,146	1,3	<b>0,167</b>	<b>2,1</b>	180	1,3	0,1	1,3	0,191	
As	<b>19,8</b>	<b>3,2</b>	6,4	1,0	3,8	0,6	14,1	1,4	9	
Zn	<b>352</b>	<b>2,5</b>	316	2,3	<b>269</b>	<b>1,9</b>	232	1,6	329	
Sb	<b>3,7</b>	<b>1,6</b>	<b>4,1</b>	<b>1,8</b>	<b>4,4</b>	<b>1,9</b>	<b>37,6</b>	<b>8,9</b>	3,9	
Co	<b>21,0</b>	<b>2,0</b>	9,5	0,9	10,9	1,1	9,5	1,5	12,1	
Cr	87,6	0,8	143	1,3	90	0,8	48,5	1,1	99,2	
Ba	<b>961</b>	<b>9,6</b>	429	4,3	416	4,2	686	2,3	495	
Sr	<b>551</b>	<b>5,5</b>	187	1,9	<b>245</b>	<b>2,5</b>	283	2,1	218	
Sc	9,9	1,4	5,4	0,7	3,7	0,5	–	–	7,1	
Br	<b>5,9</b>	<b>2,0</b>	<b>5,1</b>	<b>1,8</b>	3,8	1,3	–	–	5,5	
Rb	35,8	0,7	29,2	0,5	29,1	0,5	57,9	1,8	39,3	
Cs	3,1	0,9	1,7	0,5	1,3	0,4	1,8	0,9	2,4	
La	<b>33,4</b>	<b>11,9</b>	19,1	6,8	12,6	4,5	23,9	1,4	23,9	
Hf	<b>5,1</b>	<b>2,3</b>	3,2	1,5	2,1	1,0	3,3	1,9	4,1	
Au	0,02	0,05	0,04	0,2	0,02	0,1	–	–	0,04	
Ce	<b>65,8</b>	<b>6,4</b>	40,7	3,9	28,4	2,8	44,6	1,3	51,8	
Nd	<b>25,8</b>	<b>1,7</b>	16,4	1,1	12,6	0,8	16,3	1,2	18,9	
Ta	<b>1,1</b>	<b>5,4</b>	0,7	3,5	0,3	1,4	0,6	1,1	0,7	
Sm	<b>5,2</b>	<b>9,1</b>	3,4	6,0	1,9	3,4	3,0	1,2	3,7	
Eu	<b>1,1</b>	<b>1,0</b>	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	1,3	0,7	
Tb	<b>0,7</b>	<b>12,0</b>	0,3	5,3	0,3	4,5	0,5	1,3	0,5	
Yb	<b>2,4</b>	<b>11,9</b>	1,6	7,8	1	4,9	1,3	1,2	2	
Lu	<b>0,3</b>	<b>2,3</b>	0,2	1,4	0,1	0,9	0,2	1,6	0,3	
Th	<b>8,6</b>	<b>3,0</b>	4,6	1,6	2,9	1,0	5,6	1,3	5,9	
U	<b>6,0</b>	<b>30,1</b>	2,3	11,5	1,1	7,6	2,4	1,6	2,8	
n	Z <sub>с</sub>	26	108	11	49	5	32,0	7	15	n=753

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ; \* – среднее содержание в %, \*\* – метод ИСП-МС; С – содержание, К<sub>с</sub> – коэффициент концентрации; n – количество проб; Z<sub>с</sub> – суммарный показатель загрязнения; жирный шрифт – высокие значения

Обращает на себя внимание большой спектр элементов-индикаторов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия котельных, использующие уголь. По значениям К<sub>с</sub> в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях котельных, работающих на угле, наиболее сильно концентрируется U (К<sub>с</sub> = 30), Tb, Yb, La, Ba, Sm, Ce, Sr, Ta, Cd (5–12), менее активно – As, Th, Na, Zn, Hf, Lu, Ca, Co, Br, Nd, Sb, Mo, Ni (1,5–3), что формирует средний уровень

загрязнения и умеренно-опасную экологическую ситуацию по значениям  $Z_c$  (таблица 6.6.1; таблица 6.6.3). Содержание остальных элементов (Fe, Sc, Hg, Eu, Cs, Cr, Rb, Au, Mn, V, Pb) близко к фоновым или ниже фоновых по средним значениям  $K_c$ . В тоже время, в отдельных пробах содержание Hg, Fe, Cr встречается на уровне от 1,5 до 2,5 фонов.

В нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях угольных котельных содержание U, Sr, Ba, As, Co, Zn статистически высоко значимо превышает от 2 до 2,5 раз среднеобластные значения (тест Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни,  $p < 0,001$ ) (таблица 6.6.1).

Таблица 6.6.2. – Среднесуточное выпадение химических элементов на снеговой покров ( $P_{общ}$ ) в зоне воздействия котельных, использующих различные виды топлива на территории Томской области

Элемент	Котельные								Среднее для Томской области	
	на угле		на природном газе		на древесине		на нефти**			
	$P_{общ}$	$K_p$	$P_{общ}$	$K_p$	$P_{общ}$	$K_p$	$P_{общ}$	$K_p$		
Na*	217	21	33,4	3,2	20,2	1,9	–	–	217	
Ca*	1061	19	77,8	1,4	89,2	1,6	–	–	477	
Fe*	1632	13	159	1,2	205	1,6	242	3,0	742	
Hg	4,36	4	0,924	0,8	0,856	0,7	1,02	0,9	4,9	
As	1038	15	47,8	0,7	25,5	0,4	144	2,3	260	
Zn	15548	18	1678	1,9	1872	2,1	2371	2,8	7960	
Sb	160	9,9	28,7	1,8	24,3	1,5	384	15	87,2	
Co	1447	20	74,9	1,0	65,6	0,9	97	2,5	407	
Cr	4160	5,4	850	1,1	653	0,8	495	1,9	2281	
Ba	66676	95	3171	4,5	3162	4,5	6995	3,8	15377	
Sr	40108	57	1277	1,8	1817	2,6	2891	3,5	7235	
Sc	683	13,7	41,5	0,8	23,5	0,5	–	–	236	
Br	530	26	36,4	1,8	28	1,4	–	–	112	
Rb	2093	5,4	213	0,6	183	0,5	591	3,1	1269	
Cs	200	8,2	13	0,5	8,6	0,4	19	1,5	75,7	
La	2353	120	150	7,6	82,2	4,2	244	2,4	747	
Hf	358	23	26,1	1,7	13,4	0,9	33,4	3,3	136	
Au	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	–	–	0,6	
Ce	4653	65	322	4,5	197	2,7	–	–	1563	
Nd	1791	20	126	1,4	86	1,0	166	2,0	573	
Ta	69,8	100	5,8	8,4	1,9	2,7	5,6	1,9	21,7	
Sm	444	111	26,4	6,6	12,4	3,1	30,9	2,0	123	
Eu	75,4	9,8	3,8	0,5	2,4	0,3	7,2	2,3	25,3	
Tb	49,9	125	2,5	6,3	1,5	3,8	4,7	2,2	17,6	
Yb	167	119	12,3	8,8	6,6	4,7	12,8	2,0	65,2	
Lu	23,7	47	1,7	3,4	0,9	1,8	2,5	2,8	9	
Th	620	31	36,6	1,8	19,1	0,9	56,8	2,2	183	
U	399	285	18,8	13	6,7	4,8	24,2	2,7	86,2	
n	$Z_p$	26	1359	11	62	5	30	7	46	n=753

метод ИНАА, Hg – метод ААСМ; \*\* – метод ИСП-МС;  $P_{общ}$ , в мг/(км<sup>2</sup>·сут.); \* – Na, Ca, Fe в г/(км<sup>2</sup>·сут.); n – количество проб;  $Z_p$  – суммарный показатель нагрузки; жирный шрифт – высокие значения;

Среднесуточное выпадение изучаемого спектра химических элементов на снеговой покров статистически высоко в окрестностях котельных, работающих на угле, по сравнению с

данными для других котельных (таблица 6.6.2). Это связано как с высокими содержаниями этих элементов в пробах, так и с высокой величиной пылевой нагрузки (таблица 6.2.2). В окрестностях угольных котельных к элементам с высокой имиссией относятся U ( $K_p = 285$ ), La, Sm, Tb, Yb (110–124), Ba, Sr, Ce, Ta (57–99), формирующие средний уровень загрязнения и умеренно-опасную экологическую ситуацию по значениям  $Z_p$ .

Таблица 6.6.3. – Коэффициенты концентрации тяжёлых металлов в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия котельных, которые отличаются видами топлива и технологическими параметрами на территории Томской области

Котельная	Уровни коэффициентов концентрации ( $K_c$ )	
	1,6–5	5–29
на угле, расход топлива 416 т/год, выработка тепла 7700 Гкал/год	Mg <sub>1,6</sub> Hg <sub>1,9</sub> Be <sub>2,2</sub> Pb,Ag,Al <sub>2,4</sub> Ba <sub>3</sub> Co <sub>3,1</sub> Ni <sub>3,1</sub> Zn <sub>3,2</sub> Mo <sub>3,3</sub> Sr <sub>4,2</sub>	Cd <sub>7,2</sub> Sb <sub>24,8</sub>
на угле, 1578 т/год, 3772 Гкал/год	Hg,Fe <sub>1,6</sub> Mn <sub>1,7</sub> Mg,Ti,Al <sub>1,8</sub> As <sub>2,2</sub> V <sub>2,4</sub> Be <sub>2,3</sub> Zn <sub>2,7</sub> Ni,Mo,Co <sub>2,9</sub> Ba <sub>3,7</sub> Cd <sub>4,4</sub> Sr <sub>4,7</sub>	-
на природном газе, 737 м <sup>3</sup> /год, 5310 Гкал/год	Mn,Mg <sub>1,7</sub> Mo,Al,Fe,Zn <sub>1,9</sub> Ni <sub>3,4</sub> V <sub>3,8</sub>	Ba <sub>2,1</sub> Cd <sub>2,3</sub> Hg <sub>2,5</sub> W <sub>9,1</sub>
на природном газе, 317 м <sup>3</sup> /год, 2282 Гкал/год	Zn <sub>1,6</sub> Hg <sub>1,8</sub> Cd <sub>3,6</sub>	-
на нефти, 6674 Гкал/год	Al,Fe <sub>1,8</sub> Sr <sub>2</sub> Cd <sub>2</sub> Mo <sub>2,2</sub> Ba <sub>2,2</sub> V <sub>4,8</sub>	Sb <sub>7,0</sub> Ni <sub>8,4</sub>
на древесине	Fe,Ba <sub>1,8</sub> Ni <sub>1,9</sub> Cu <sub>2,1</sub> Ag <sub>2,3</sub> Pb <sub>2,5</sub> Zn <sub>3,3</sub>	Mn <sub>6,2</sub> Cd <sub>16,6</sub> Sb <sub>28,7</sub>

метод ИСП МС, Hg – ААСМ

Таблица 6.6.4. – Элементы-индикаторы в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия котельных, использующих различные виды топлива на территории Томской области

Котельная	Элементы-индикаторы
на угле	Ca, As, Co, Ba, Sc, Cs, La, Hf, Ce, Nd, Eu, Tb, Yb, Lu, Th, U, Ta, Sm, Br, Sr, Fe, Hg, Zn, Sb, Cd, Pb, Mo, Ni, Mo, P
на природном газе	Br, Hg, Sb
на древесине	Sr, Ca, Sb, Zn
на нефти	V, Ni, Sb

В нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях угольных котельных формируются геохимические ассоциации U-Th-Co-Ta-Rb-Cs-Sc-Co-лантаноиды, Sr-Ba-Ca-Eu, Sb-Cr-Zn, Hg-As-Fe, характеризующиеся значимыми корреляционными связями (рисунок 6.6.2). Также полиэлементная ассоциация коррелирует с фактором 1 (рисунок 6.5.2). Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова на редкоземельные и радиоактивные элементы также подтверждается высокой долей U в тройной системе «U-Th- $\sum$ TR» (рисунок 6.4.3), низким Th/U отношением и повышенными концентрациями суммы легких лантаноидов (La+Ce) относительно тяжелых (рисунок 6.4.4).

Содержание Ba, As, Co, Sr, Ce, Ta, Sm, Tb, Yb, Lu, U, Th статистически значимо высокое (тест Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни,  $0,05 > p \geq 0,001$  и  $0,001 > p$ ) в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне выбросов котельных, работающих на угле, Hg – котельных, использующих природный газ (тест Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни,  $0,05 > p \geq 0,01$ ) по сравнению с содержанием в пробах с территории населенных пунктов, где они расположены.

Данные различия могут свидетельствовать о влиянии выбросов котельных на концентрирование элементов в снеговом покрове. На рисунке 6.4.7 в качестве примера приведены результаты сравнения проб, отобранных на территории Асиновского района, где расположено большое количество угольных котельных.

Нами установлено, что содержание рассматриваемого спектра химических элементов в 3–7 раз выше в золе уноса по сравнению с содержанием в используемом угле на сельской котельной (рисунок 6.6.3). Отмечается одинаковый ход концентрации элементов в угле, золе уноса котельной и в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях этой котельной. Содержание многих элементов в нерастворимом осадке снегового покрова близко к содержаниям в золе уноса, что указывает на техногенное происхождение элементов.

Результаты изучения нерастворимого осадка снегового покрова сканирующей электронной микроскопии показали, что формами проявления U являются оксиды U с примесями Bi, Pb, Fe, Si, а некоторых редкоземельных элементов – цериевые фосфаты и лантан-цериевые микросферы (рисунок 6.6.4). В нерастворимом осадке снегового покрова содержатся интерметаллиды Pb-Fe-Ti, Fe-Cr-Ni; Fe-Cr-Ti; частицы сульфидов Cu и Pb; шлаковые частицы с сульфидами Zn (Таловская и др., 2016).

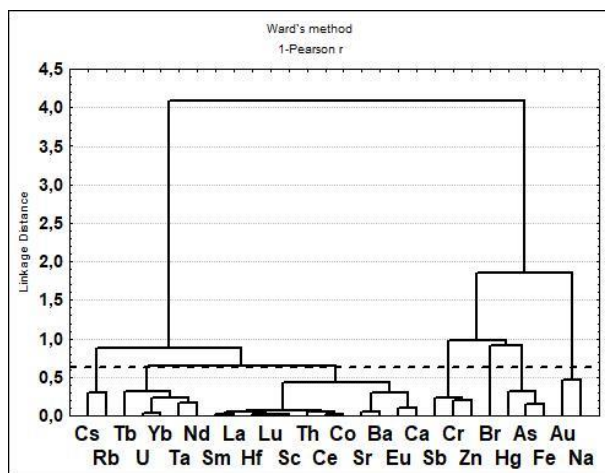


Рисунок 6.6.2. – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях угольных котельных ( $1-r_{0,05} = 0,63$ ,  $n = 26$ )

Кетрис, 2005; Duan et al., 2012). Ртуть содержится в шлейфах выбросов угольных ТЭЦ (Симоненков, 2015).

Br, Hg, Sb выделены как элементы-индикаторы для нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия котельных, использующих природный газ (таблица 6.6.4). Уровни концентрации этих элементов в нерастворимом осадке снегового покрова и среднесуточное выпадение на снеговой находятся на уровне 2 фонов (таблица 6.6.1–6.6.2). Ртуть в следовых

Выявленные геохимические ассоциации элементов в нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях угольных котельных отражают геохимическую специализацию углей Кузнецкого бассейна (Редкие., 2000; Арбузов, 2005; 2007; Арбузов и Ершов, 2007; Волостнов и Арбузов, 2011, Белая, 2015), которые используют объекты теплоэнергетики области. Химические элементы в процессе сжигания угля уходят в дымовые газы, например, Hg, As и Br в парогазовой фазе, а многие элементы в составе тонкодисперсной пылевой фракции выбросов (Xu et al., 2003; Кизильштейн, 2002; Юдович и

количества содержится в природном газе (Рыжов и др., 1998), выявлена в составе шлейфов выбросов газовых факелов (Симоненков, 2015). Вг и Sb были определены как специфичные элементы в нерастворимом осадке снега вблизи факелов нефтяного месторождения Томской области (таблица 6.4.5). Бром-сурьмяная специфика определена в снеговом и почвенном покрове (Шатилов, 2001; Язиков, 2006), в живом веществе (Барановская, 2011) в районе расположения Томскнефтехима, что обусловлено влиянием факелов по сжигаю попутного газа.

В нерастворимом осадке снегового покрова в окрестностях котельной, работающей на нефти, специфичным является концентрирование V, Ni и Sb на уровне от 3–8 фонов и среднесуточное выпадение этих элементов на снеговой покров – 5–9 фонов (таблица 6.6.1–6.6.3). Повышенные уровни накопления V, Ni и Sb в нерастворимом осадке снегового покрова вероятно отражают геохимическую специализацию нефти Западно-Сибирских месторождений (Калинин, 2009; Яценко, 2012). Ванадий и никель выявлены в виде примесей в ферросферулах, алюмосиликатно-кальциевых и алюмосиликатных микрочастиц в нерастворимом осадке снегового покрова, что указывает на формы нахождения этих элементов (Таловская и др., 2016). Это согласуется с литературными данными, что в зольных уносах ТЭЦ, работающих на нефти, ванадий и никель находятся в составе крупных и мелких частиц (Yatkin и Bayram, 2008).

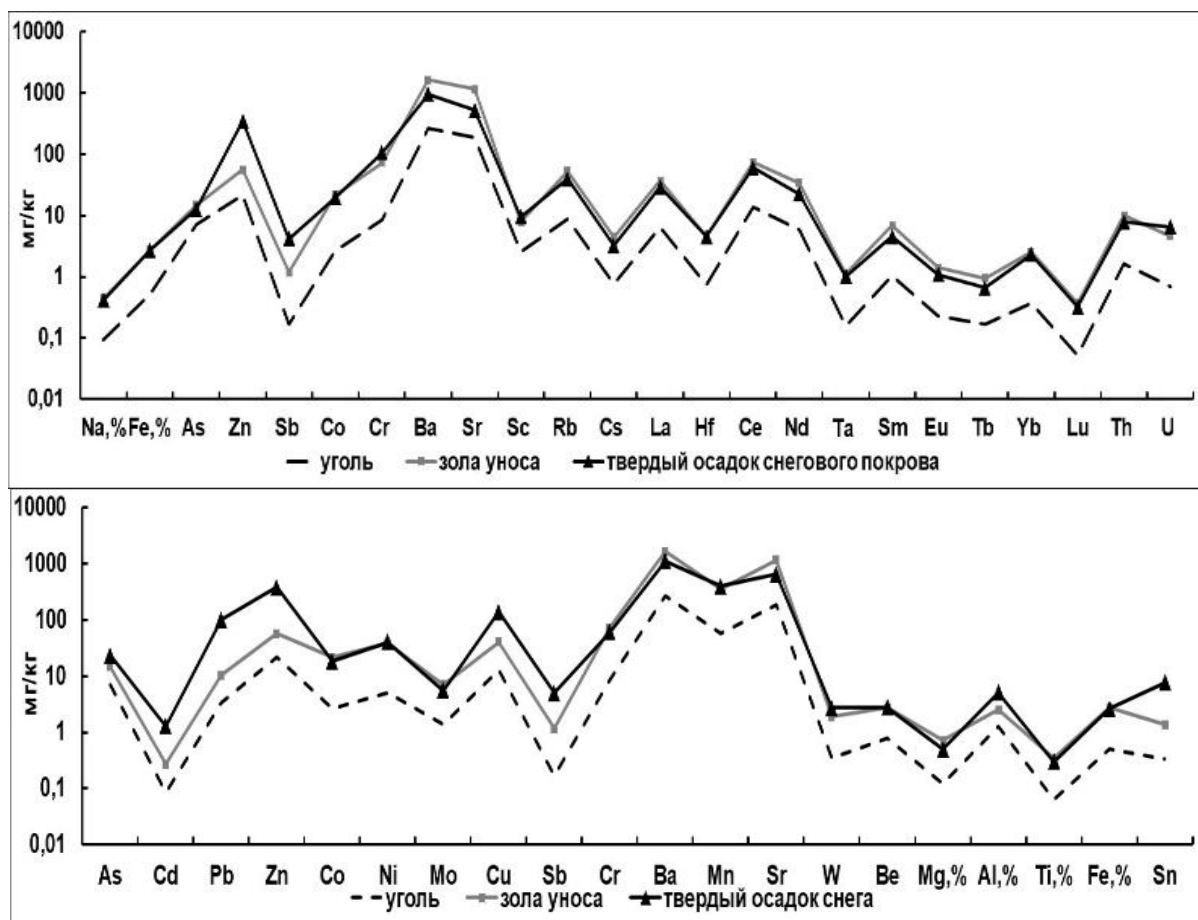


Рисунок 6.6.3. – Содержание химических элементов в угле, золе уноса угольной котельной и в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия котельной

Специфика нерастворимого осадка снегового покрова в зоне влияния выбросов котельных, использующих древесину, проявляется в повышенном накоплении Ca, Sr, Sb, Zn (таблица 6.6.1–6.6.4). Предполагаем при сжигании древесины поступление этих элементов в составе зольных выбросов в воздух. По литературным данным, эти элементы содержатся в древесине и ее золе (Демаков и Швецов, 2012; Сафонов и др., 2013), а эмиссия Hg, Sb, Zn, Sr, U, As от лесных пожаров в Сибири варьирует от 10 до 30% (Щербов и др., 2015). В снеговом покрове интенсивно накапливаются Ca, Cu, Fe, Zn в местах пожарищ лесных массивов в первые годы после пожаров, при этом установлена взаимосвязь высокого содержания Ca и высокого количества золы в снеговом покрове (Украинцев, 2017).

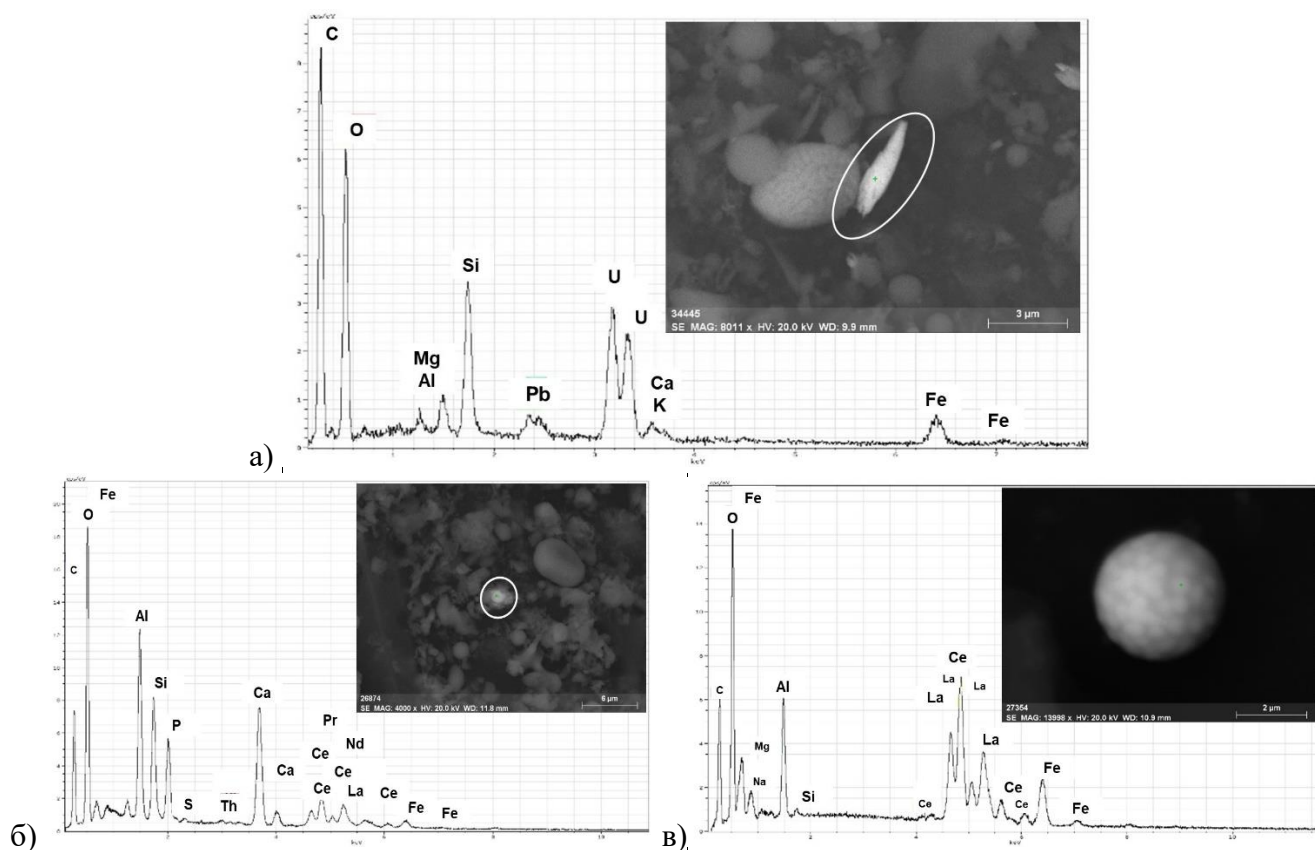


Рисунок 6.6.4. – Микрофотографии микрочастиц и их энергодисперсионные спектры в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия угольной котельной: а) оксиды урана; б) цериевые фосфаты; в) лантан-цериевые микросферы (метод СЭМ)

Определены *показатели риска ингаляционного воздействия* твердых частиц на здоровье населения, проживающего в окрестностях котельных, использующие уголь, природный газ, нефть и древесину, по данным изучения уровней накопления тяжелых металлов (Al, Mn, Cu, Ba, Co, Pb, Zn, V, Ni, Cd, As, Be) в нерастворимом осадке снегового покрова (Осипова, Таловская и др., 2018). По суммарному значению коэффициента опасности ингаляционного воздействия зоны воздействия изученных котельных ранжированы в виде следующего ряда: котельная на угле (1,74)>на древесине (0,65)>природном газе (0,37)>на нефти (0,28). Поэтому воздействие

указанных видов деятельности может быть расценено как допустимое и приемлемое (суммарное значение меньше 3, вклад отдельных элементов менее 1, а большинства – на уровне 0,01).

Основной вклад в суммарный коэффициент опасности в зоне воздействия котельных, работающих на угле, вносят Al, Mn, Cu, Ba, Co, Pb, Zn, котельных на древесине – Mn, Cu, Al, Ba, котельных на природном газе – Mn, Al, Cu, V, Ba, котельных на нефти – Al, Mn, Cu, Ni, V. Для химических элементов – Cr (VI), Cd, As, Be, Ni, Co, Pb значения индивидуального канцерогенного риска ниже  $10^{-7}$ , что соответствует пренебрежимо малому уровню риска, и определены для зон воздействия котельных, использующих различные виды топлива.

*Таким образом, поступление химических элементов в составе твердых частиц, осевших в снеговом покрове, на территории населённых пунктов Томской области определяется влиянием местных котельных. В зоне выбросов котельных формирование геохимических особенностей нерастворимого осадка снегового покрова зависит от вида используемого топлива (уголь, природный газ, древесина, нефть), что может быть использовано при идентификации источников загрязнения. Так, котельные, использующие уголь, являются факторами формирования преимущественно редкометалльной и ртутной, котельные на природном газе – бромной и ртутной геохимической специфики нерастворимого осадка снегового покрова на территории населённых пунктов Томской области. Идентифицированы микрочастицы оксидов урана, цериевых фосфатов, лантан-цериевые микросферулы, характеризующие формы нахождения микроэлементов в нерастворимом осадке снегового покрова в районах расположения котельных, работающих на угле.*



## 7. ТИПИЗАЦИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА СИБИРИ ПО АТМОТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ НА СРЕДУ ОБИТАНИЯ

### 7.1. Краткий обзор типизаций эколого-геохимического состояния урбанизированных территорий

В системе эколого-геохимической оценки урбанизированных территорий важной проблемой является выявление степени геохимической трансформации компонентов природной среды под воздействием природных и техногенных факторов. Изучение депонирующих сред (снеговой покров, почвы, растительность и др.), в которых накапливаются и преобразуются продукты техногенеза, позволяет оценить масштабы антропогенного воздействия и выявить источники загрязнения (Методические рекомендации..., 1982; 1990; Линник и др., 1986; Геохимия..., 1990; Касимов и др., 1995; 2014). Современные тренды в экогеохимии городов направлены на изучение техногенных источников загрязняющих веществ и техногенных геохимических аномалий в депонирующих средах (Касимов и др., 2014).

Вопросы типизации эколого-геохимического состояния урбанизированных территорий рассматриваются немногими авторами (Касимов и др., 1995; 2014; Новиков и Новикова, 2003; Алексеенко, 2013; Крутских и Косинова, 2016; Давыдова, 2001), методические подходы которых базируются на научных концепциях геохимии ландшафтов (Полынов, 1956; Перельман, 1963; Глазовская, 1988) в сочетании с теорией и методами геохимии окружающей среды (Методические рекомендации ИМГРЭ..., 1982; 1990; Геохимия..., 1990).

В настоящее время разработаны научно-концептуальные основы масштабной *геохимической систематики городов и городских ландшафтов* Н.С. Касимовым с соавторами (Экогеохимия..., 1995; Касимов и др., 2014), которая включает два уровня. Первый уровень – систематика городских ландшафтов как целостных систем с учетом численности населения и производственной специализации, второй – систематика ландшафтов внутри города по функциональным зонам. В систематике содержится до 10 таксономических единиц и критериев выделения этих единиц. Первый уровень систематики базируется на информации о природных и техногенных особенностях миграции и концентрации химических элементов, а также об объемах выбросов в атмосферный воздух, второй уровень – на соотношении техногенных и природно-обусловленных факторов привноса, транслокации, выноса и аккумуляции вещества. В основе систематики положены результаты исследований уровня содержания и распределения загрязняющих веществ, включая минеральные и органические поллютанты, группу тяжёлых металлов, полициклические ароматические углеводороды в депонирующих средах некоторых городов России (Норильск, Апатиты, Братск, Новгород, Геленджик, Тольятти, Москва, Череповец, Магнитогорск, Новгород), Польши (Иновроцлава), Кубы (Моа) и Монголии (Улан-Батор), а также показатели воздействия на воздух в более, чем 200 городах России.

В классификации В.А. Алексеенко (2013 г.) проводится типология селитебных геохимических ландшафтов с учетом численности населения, включающая эколого-геохимические характеристики и оценку влияния как природных (тип растительности, почвообразующие процессы, геоморфология и др.), так и техногенных (функциональное зонирование городской территории) факторов. Выделено восемь таксономических уровней, в которых предложено учитывать особенности формы движения материи, виды миграции в биогенных и техногенных ландшафтах, миграции химических элементов в почвах, в подземных водах, в воздухе, факторы их миграции, геоморфологические особенности, особенности почвообразующих горных пород и коры выветривания. В классификации использованы результаты исследований в городах России, Республики Казахстан, Украины, Белоруссии и некоторых зарубежных стран.

Разработаны *типизации территорий в некоторых регионах*. Например, в работе Ю.А. Новикова и Л.Н. Новиковой (2003 г.) проводится типизация техногенных систем Крыма (промышленных производств) по данным эколого-геохимических изменений компонентов геологической среды (почвы, донные и аллювиальные отложения, поверхностные и подземные воды). Н.В. Крутских и И.И. Косинова (2016 г.) предлагают типизацию городов Республики Карелия на основе функциональной типологии городов из области геоурбанистики, которая разрабатывается на стадии планирования геоэкологического менеджмента урбанизированной территории для разработки рекомендаций по организации геоэкологического мониторинга с применением эколого-геохимических методов. Для Сибири разработана классификация техногенного геохимического воздействия веществ на геосистемы Н.Д. Давыдовой (2001 г.), в рамках которой выделяются щелочно-кальциевый, нейтральный, фторидно-натриевый, кислотно-фторидный типы воздействия на природную среду.

*Таким образом, обзор показал, что основой существующих типизаций эколого-геохимического состояния урбанизированных территорий является геохимическая миграция химических элементов в различных компонентах природной среды в разных природно-техногенных обстановках. Но в рассматриваемых видах типизаций недостаточно уделяется внимание изучению закономерностей формирования и распределения аэрозольного загрязнения как мощного экологического фактора на промышленно-урбанизированных территориях с использованием снегового покрова.*

## 7.2. Разработанные подходы к типизации урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания на основе изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова

В данной работе разработаны и научно обоснованы подходы к типизации урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания для оценки экологического состояния (рисунок 7.2.1). Подходы к типизации урбанизированных территорий основаны на результатах систематизации собственного фактического материала, полученного в результате комплексного изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова на территории 21 города в регионе, в сочетании с методами геохимии окружающей среды (Методические рекомендации ИМГРЭ..., 1982; 1990; Линник и др., 1986; Геохимия..., 1990; Касимов и др., 1990; 1995; 2014; 2016), экологической минералогии (Голева, 2007) и геоурбанистики (Старовойтов, Медведева, 2008; Архипов, 2010; Манаева, 2018).

Оригинальность подходов к типизации заключается в разработанном комплексе критериев и признаков, определяющие закономерности формирования аэрозольного загрязнения на основе изучения уровня пылевой нагрузки, геохимических и минерально-вещественных особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири в зависимости от условий техногенеза. Критерии и признаки возможно применять для типизации территорий городов, как целостной урбосистем, а также отдельно для типизации зон воздействия предприятий в регионе.

Типизация урбанизированных территорий проводится по критериям и признакам, которые характеризуют два типа воздействия. *Первый тип воздействия – промышленно-урбанизированное освоение территории*, который отражает техногенные факторы формирования загрязнения в городах с использованием подходов геоурбанистики (Старовойтов, Медведева, 2008; Архипов, 2010; Манаева, 2018). Выделены три критерия, являющиеся техногенными основаниями типизации территорий. В качестве оснований используются сведения о промышленной инфраструктуре города и численности населения. *Критериями* первого и второго порядка являются *промышленно-функциональное назначение города и концентрация промышленных предприятий*, соответственно. Эти критерии отражают ведущие виды воздействия на формирование экологической обстановки в городе вследствие техногенных процессов поступления и переноса поллютантов. Основой третьего критерия является *численность городского населения*, поскольку, по литературным данным (Касимов и др., 2014), существует зависимость между концентрацией поллютантов в воздухе и размером города. По каждому критерию проводится типизация урбанизированных территорий с выделением групп городов, которые характеризуются показателями.

Тип воздействия I. ПРОМЫШЛЕННО-УРБАНИЗИРОВАННОЕ ОСВОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ		
Критерий	Группа	Показатель
I.1 Промышленно-функциональное назначение города	<p>I.1.1 непромышленный город</p> <p>I.1.2 монопрофильный промышленный (Манаева, 2018) или моногород (по Распоряжению Правительства РФ от 29.07.2014 №1398-р);</p> <p>I.1.3 многопрофильный промышленный (Архипов, 2010; Манаева, 2018)</p>	<p>Кол-во отраслей промышленности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•отсутствие промышленных отраслей производства</li> <li>•одна градообразующая отрасль производства;</li> <li>•многоотраслевое производство</li> </ul>
I.2 Концентрация промышленных предприятий в городе	<p>I.2.1 с низкой концентрацией предприятий</p> <p>I.2.2 со средней концентрацией</p> <p>I.2.3 с высокой концентрацией</p>	<p>Кол-во крупных и средних промышленных предприятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•1–3 градообразующих предприятий;</li> <li>•4–14 предприятий</li> <li>•≥15 предприятий</li> </ul>
I.3 Численность городского населения	<p>I.3.1 малые;</p> <p>I.3.2 средние;</p> <p>I.3.3 большие;</p> <p>I.3.4 крупные;</p> <p>I.3.5 крупнейшие;</p> <p>I.3.6 миллионники</p> <p>(Старовойтов, Медведева, 2008; Архипов, 2010; Манаева, 2018)</p>	<p>Численность жителей, тыс. чел.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•≤50;</li> <li>•50–100;</li> <li>•100–250;</li> <li>•250–500;</li> <li>•500–1000;</li> <li>•≥1000</li> </ul> <p>(Старовойтов, Медведева, 2008; Архипов, 2010; Манаева, 2018)</p>

Рисунок 7.2.1. – Схема типизации урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания для определения экологического состояния

<b>ТИП ВОЗДЕЙСТВИЯ П. АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ</b>			
<b>КРИТЕРИЙ П.1.1 УРОВЕНЬ ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ</b>			
<b>ПРЯМОЙ ПРИЗНАК</b>			
<b>Наименование признака</b>	<b>Параметры оценки экологического состояния</b>		
	<b>Параметр</b>	<b>Показатель</b>	<b>Уровень загрязнения (опасности)</b>
<b>П.1.1.1.ПП.1 Уровень пылевой нагрузки</b>	• $P_{п} \geq 100$ мг/(м <sup>2</sup> ·сут.) (по общепринятым градациям: Геохимия..., 1990; Касимов, 2012)	$\leq 250$ ( $\leq 200$ )	Низкий (неопасный)
		250-450 (200-300; 300-500)	Средний (умеренно опасный; опасный)
		450-850 (500-800)	Высокий (очень опасный)
		$\geq 850$ ( $\geq 800$ )	Очень высокий (чрезвычайно опасный)
	От уровня фона • $P_{п} > 20$ мг/(м <sup>2</sup> ·сут.); • $P_{п} \geq 3$ фонов	20-60	Низкий (1-3 фона)
		60-240	Средний (>3-12 фона)
		241-600	Высокий (>12-30 фона)
		$\geq 600$	Очень высокий (>30 фона)
<b>КОСВЕННЫЙ ПРИЗНАК</b>			
<b>П.1.1.1.КП.1 Уровень пылевой нагрузки</b>	От уровня фона • $P_{п} \leq 20$ мг/(м <sup>2</sup> ·сут.); • $P_{п} < 3$ фонов	$\leq 20$	Около-фоновый

Рисунок 7.2.1. (Продолжение)

ТИП ВОЗДЕЙСТВИЯ II. АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ			
КРИТЕРИЙ II.2.1 ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕГОВОГО ПОКРОВА			
ПРЯМОЙ ПРИЗНАК			
Наименование признака	Параметры оценки экологического состояния		
	Параметр	Показатель	Уровень загрязнения (опасности)
II.2.1.ПП1 Техногенная геохимическая специализация	• $K_c \geq 3$ ; • $K_p \geq 5$ ; • $p \leq 0,05$ ; • $Th/U \geq 1,5$ ; • $(La+Ce)/(Yb+Lu) \geq 32$		Выше фонового уровня накопления химических элементов
II.2.1.ПП2 Элементы-индикаторы, характеризующие воздействие производства	• $C \geq 3\sigma$ ; • $K_c \geq 3$ ; • $K_p \geq 5$ ; •ассоциации элементов; • $Th/U \leq 1,5$ ; • $(La+Ce)/(Yb+Lu) \geq 100$		Выше фонового уровня накопления элементов-индикаторов
II.2.1.ПП3 Полиэлементное загрязнение	• $Z_c \geq 32$ (по общепринятым градациям: Геохимия..., 1990; Касимов, 2012)	$\leq 32$	Низкий (неопасный)
		32-64	Низкий (умеренно опасный)
		64-128	Средний (опасный)
		128-256	Высокий (очень опасный)
		$\geq 256$	Очень высокий (чрезвычайно опасный)
II.2.1.ПП4 Полиэлементная нагрузка	• $Z_p \geq 1000$ (по общепринятым градациям: Геохимия..., 1990; Касимов, 2012)	$\leq 1000$	Низкий (неопасный)
		1000-5000 (1000-2000; 2000-4000)	Средний (умеренно опасный; опасный)
		5000-10000 (4000-8000)	Высокий (очень опасный)
		$\geq 1000$	Очень высокий (чрезвычайно опасный)
II.2.1.ПП5 Формы нахождения радиоактивных элементов в виде микровключений (патент в соавторстве № 2453869; 2012г.)	•радиально-лучистое скопление треков $\geq 0,5$ «звезда»/см <sup>2</sup> ; •отдельные сгустки треков $\geq 0,3$ скопление/см <sup>2</sup>	$\leq 0,5$	Низкий
		$\geq 0,5$	Высокий
КОСВЕННЫЙ ПРИЗНАК			
II.2.1.КП1 Сопутствующие элементы, характеризующие воздействие производства	• $K_c \geq 1,5$ ; • $K_p \geq 3$ ; •ассоциации элементов; • $Th/U > 1,5$ ; • $(La+Ce)/(Yb+Lu) < 100$		Выше фонового уровня накопления элементов
II.2.1.КП2 Рассеянная форма радиоактивных элементов (патент в соавторстве № 2453869; 2012г.)	•равномерное распределение треков $\geq 1500$ трек/мм <sup>2</sup>	$\leq 1500$	Низкий
		$\geq 1500$	Высокий

Рисунок 7.2.1. (Продолжение)

<b>ТИП ВОЗДЕЙСТВИЯ II. АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ</b>				
<b>КРИТЕРИЙ II.3.1 МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСАДКА СНЕГОВОГО ПОКРОВА</b>				
<b>ПРЯМОЙ ПРИЗНАК</b>				
Наименование	Параметры оценки экологического состояния			
	Параметр	Показатель		Уровень загрязнения
<b>II.3.1.ПП1</b> Типы техногенных частиц-индикаторов, характеризующие воздействие производства (патент в соавторстве №2229737; 2004 г.)	•доля техногенных частиц-индикаторов $\geq 10\%$	По доли техногенных частиц-индикаторов, %		
		$\leq 10$	Фоновый	
		10-15	Низкий (1-1,5 фона)	
		15-25	Средний (1,5-2,5 фона)	
		25-35	Высокий (2,5-3,5 фона)	
		$\geq 35$	Очень высокий ( $\geq 3,5$ фона)	
<b>II.3.1.ПП2</b> Техногенные минералы-индикаторы, характеризующие воздействие производства	•долевое содержание минералов-индикаторов $\geq 1\%$ ; •отношение доли минералов-индикаторов к доли кварца	Отношение минерал-индикатор/кварц		
		$< 0,1$	Низкий	
		0,1-1,0	Средний	
		1,0-2,5	Высокий	
		$\geq 2,5$	Очень высокий	
<b>II.3.1.ПП3</b> Техногенные металлосодержащие микрочастицы-индикаторы, характеризующие воздействие производства	•содержание элементов, масс.%; •частота встречаемости от всех изученных частиц, %	Частота встречаемости, %		
		$< 1$	Низкий	
		$> 1$	Высокий	
<b>КОСВЕННЫЙ ПРИЗНАК</b>				
<b>II.3.1.КП1.</b> Соотношение группы природных и группы техногенных образований (частиц) (патент в соавторстве №2229737; 2004 г.)	•доля группы природных (ПЧ) и техногенных частиц (ТЧ), %	Доля ПЧ, %	Доля ТЧ, %	По доле группы ТЧ
		$\geq 76$	$\leq 24$	Фоновый
		65-75	25-35	Низкий (1-1,5 фона)
		40-65	35-60	Средний (1,5-2,5 фона)
		15-40	60-85	Высокий (2,5-3,5 фона)
		$\leq 15$	$\geq 85$	Очень высокий ( $\geq 3,5$ фона)
<b>II.3.1.КП2-1.</b> Сопутствующие минералы	•долевое содержание минералов $\geq 1\%$	-		
<b>II.3.1.КП2-2.</b> Соотношение кристаллических (минеральных) и аморфных фаз	•доля кристаллических (КФ) и аморфных фаз (АФ), %	Доля КФ, %	Доля АФ, %	По доле АФ
		$\geq 93$	$\leq 7$	Фоновый
		86-92	8-14	Низкий (1-2 фона)
		72-86	14-28	Средний (2-4 фона)
		58-72	28-42	Высокий (4-6 фона)
		$\leq 72$	$\geq 42$	Очень высокий ( $\geq 6$ фона)
<b>II.3.1.КП3.</b> Сопутствующие металлосодержащие микрочастицы, характеризующие воздействие производства	•содержание элементов, масс.%; •частота встречаемости от всех изученных частиц, %	Частота встречаемости, %		
		$< 1$	Низкий	
		$> 1$	Высокий	

Рисунок 7.2.1. (Окончание)

С использованием первого критерия города разделены на три группы. Города представляют собой группу *непромышленных городов* в случаях, когда экономика городов может быть основа только на сфере услуг, индивидуальном предпринимательстве, мелких компаниях, и при этом основными техногенными источниками являются котельные. Группу *монопрофильных промышленных городов* составляют города, которые функционируют на базе градообразующей отрасли промышленности, в т.ч. моногорода, имеющие законодательный статус «моногород» согласно распоряжению Правительства РФ от 29.07.2014 № 1398-р. В эту группу также отнесены города с маломощными предприятиями, работа которых необходима для решения хозяйственных нужд города. Группа *многопрофильных промышленных городов* характеризуется хорошо выраженными промышленными функциями, развитой инфраструктурой различных отраслей производства, и тем самым города являются крупными промышленными центрами.

С использованием второго критерия города дифференцированы в три группы в зависимости от количества функционирующих крупных и средних по мощности промышленных предприятий – *с низкой, со средней и высокой концентрацией предприятий*. Типизация территорий выполняется по третьему критерию, что позволяет разделить города на 6 групп в зависимости от численности жителей: *малые, средние, большие, крупные, крупнейшие и миллионники*.

*Второй тип воздействия – аэрозольное загрязнение*. Подходы к типизации территорий по этому типу воздействия основаны на анализе результатов минералого-геохимического изучения нерастворимого осадка снегового покрова на 21 урбанизированной территории юга Сибири с использованием методов геохимии окружающей среды и экологической минералогии. Разработаны *три критерия типизации территорий – по уровню пылевой нагрузки, геохимическим и минерально-вещественным особенностям состава нерастворимого осадка снегового покрова*.

Ведущее значение для типизации урбанизированных территорий имеют *минералого-геохимические признаки* аэрозольного загрязнения для оценки экологического состояния. Признаки разделены на прямые и косвенные. *Прямые признаки* непосредственно указывают на формирование аэрозольного загрязнения, связанного с воздействием моно- или многопрофильных предприятий. Эти признаки наиболее ярко проявляются при исследованиях в зонах техногенеза. *Косвенные признаки* свидетельствуют о предпосылках формирования аэрозольного загрязнения.

Все признаки описываются и характеризуются *параметрам для оценки экологического состояния*, которые включают *показатели* для установления уровня загрязнения. Параметры представлены показателями – пылевая нагрузка ( $P_n$ ), эколого-геохимические ( $K_c$ ,  $K_p$ ,  $Z_c$ ,  $Z_p$ , отношения элементов) и статистические (корреляционные связи, уровень значимости различий ( $p$ ) двух и более выборок содержания элементов по параметрическим и непараметрическим



критериям) показатели, величины плотности распределения треков от деления радионуклидов, долевое содержание различных видов техногенных образований. Значения показателей обусловлены фактическими данными для 21 изученного города. Уровни загрязнения по пылевой нагрузке ( $P_n$ ), полиэлементному загрязнению ( $Z_c$ ) и полиэлементной нагрузке ( $Z_p$ ) определяются показателями по общепринятым градациям (Методические..., 1982; 1990; Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012) и по предложенной градации для пылевой нагрузки относительно фона ( $<20 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$ ), характерного для юга Сибири.

Признаки «формы нахождения радиоактивных элементов» основаны на запатентованном в соавторстве способе определения загрязнения снегового покрова радиоактивными компонентами (патент № 2229737; 2004 г.). Признаки, учитывающие соотношение техногенных и природных частиц в нерастворимом осадке снегового покрова, базируются также на запатентованном в соавторстве способе определения загрязнения снегового покрова техногенными компонентами (патент № 2453869; 2012 г.). В данной работе предложены и обоснованы параметры оценки экологического состояния территорий по уровню загрязнения радионуклидами по формам их нахождения и техногенными образованиями. В данном случае предложены диапазоны показателей на основе систематизации фактических данных изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова. Уровень загрязнения техногенными образованиями и радионуклидами определяется относительно фоновых значений.

*Используя разработанные подходы к типизации, выполнена типизация 34 урбанизированных территорий юга Сибири, включая 17 городов и 34 зоны воздействия предприятий.* Данные для проведения типизации территорий базируются на результатах, полученных при личном участии автора для 21 урбанизированной территории и представленных в главах 4, 5 и 6 (таблица 7.2.1). Также использованы опубликованные материалы разными исследователями для 15 городов с учетом разной степени изученности состава нерастворимого осадка снега (таблица 7.2.2).

*Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по типу воздействия «промышленно-урбанизированное освоение территории» показала следующее.* По первому критерию «промышленно-функциональное назначение города» выделено, что основную группу составляют монопрофильные промышленные города (18 городов), 11 городов из которых представляют собой моногорода (таблица 7.2.3). Моногорода также являются крупными промышленными центрами, например, угледобывающей (Междуреченск, Киселевск, Черногоorsk), горнодобывающей (Сорск), цементной (Топки), атомной (Северск), металлургической (Новокузнецк, Саяногорск, Шелехово), машиностроительной (Юрга) и теплоэнергетической (Мыски) промышленности. Группа многопрофильных промышленных городов с развитой инфраструктурой различных отраслей производства представлена 12 городами (Омск, Новосибирск, Томск, Кемерово, Иркутск, Павлодар и др.). К непромышленным городам отнесены г. Горно-Алтайск

(туристический центр) и г. Колпашево, на территории которых отсутствуют промышленные предприятия и главным фактором антропогенного воздействия являются выбросы котельных.

Таблица 7.2.1. – Перечень урбанизированных территорий юга Сибири для типизации территорий по атмотехногенному воздействию на среду обитания по авторским материалам

<b>Авторские материалы, в т.ч. полученные совместно со студентами, аспирантами и соискателями ОГ ТПУ* (результаты представлены в главе 4, 5, 6)</b>		
Область, край	Город	Объект изучения
Омская	Омск	Территория города, НПЗ, Октябрьская промзона, ТЭЦ-5
Томская	Томск	Территория города, ГРЭС-2, кирпичные заводы, НХК, заводы ЖБК
	Северск	ядерно-топливный цикл (ЯТЦ), ТЭЦ
	Асино	Территория города
	Стрежевой	Территория города, НГДМ (25 км от города)
	Колпашево	Территория города
Кемеровская	Кемерово	Районы города в частном секторе, в зоне воздействия ГРЭС, коксохимического завода
	Междуреченск	Территория города, угольный разрез (3 км от города), угольная шахта (12 км от города)
	Юрга	Территория города, промзона предприятий машиностроения, ТЭЦ
	Киселевск	Угольный разрез на территории города
	Мыски	ГРЭС
	Новокузнецк	Металлургический комбинат
	Топки	Цементный завод (3 км от города)
Новосибирская	Искитим	Цементный завод
Красноярский	Красноярск	Алюминиевый завод (КраЗ)
	Ачинск	НПЗ
Республика Хакасия	Сорск	Территория города, Сорский ГОК
	Черногорск	Черногорское угольное месторождение
Павлодарская (Респ. Казахстан)	Павлодар	НПЗ в Северном промузле
Восточно-Казахстанская (Респ. Казахстан)	Усть-Каменогорск	Промзона с наличием металлургических предприятий, производства уранового сырья
<b>Центральный Казахстан</b>		
Карагандинская (Респ. Казахстан)	Караганда	Территория города, ТЭЦ

\* – совместные материалы, в т.ч. опубликованные в соавторстве, с Осиповой Н.А. (г. Междуреченск), Шаховой Т.С. (НПЗ гг. Павлодар, Ачинск, Омск, кандид. диссер., 2018г.), Адильбаевой Т.Е. (г. Караганда), Литау В.В. (г. Омск), Торосян Е.С. (г. Юрга), Володиной Д.А. (гг. Топки, Искитим), Филимоненко Е.А. (предприятия г. Томска, НГДМ, кандид. диссер., 2015г.), Белошейкиной (Бутенко) А.В. (г. Сорск, Сорский ГОК), Язиковым Е.Г. (ЯТЦ), Ялалтдиновой А.Р. (г. Усть-Каменогорск)

По второму критерию типизации «концентрация промышленных предприятий в городе» выделяется группа городов с низкой концентрацией промышленности, в основном это монопрофильные города и моногорода, а также группа городов с высокой и средней концентрацией, представленные многопрофильными промышленными центрами (таблица 7.2.3).

По третьему критерию типизации «численность городского населения» среди рассматриваемых городов на юге Сибири распространенными являются малые, сумма которых составляет девять городов (Асино, Стрежевой, Колпашево, Мыски, Сорск и др.). Также выделено

семь средних (Юрга, Междуреченск, Киселевск и др.) и семь крупных (Павлодар, Караганда, Усть-Каменогорск, Чита и др.), три больших, шесть крупнейших (Томск, Кемерово, Новокузнецк, Барнаул и др.) городов и два города-миллионника (таблица 7.2.4).

Таблица 7.2.2. – Перечень урбанизированных территорий юга Сибири для типизации территорий по атмотехногенному воздействию на среду обитания по литературным материалам

Литературные опубликованные материалы			
Область, край	Город	Объект изучения	Литературный источник
Новосибирская	Новосибирск	ТЭЦ, оловокомбинат	Девятова, 2007; Бортникова и др., 2009; Артамонова, Попов, 2017
Республика Горный Алтай	Горно-Алтайск	Территория города	Ситникова, 2018
Алтайский край	Барнаул	Территория города	Хвостов, 2007
Тюменская	Тюмень	Территория города	Ларина и др., 2006; 2012
	Тобольск	Территория города	Тигеев, Московченко и др., 2021
	Нижевартовск	Территория города	Пожитков и др., 2018;2020
Павлодарская (Респ. Казахстан)	Павлодар	Территория города	Ажаев, 2007
Красноярский	Красноярск	Территория города	Стримжа и др., 2012
Республика Хакасия	Саяногорск	Алюминиевый завод (САЗ)	Давыдова, 2014; Знаменская, 2015
Иркутская	Иркутск	Ново-Иркутская ТЭЦ	Филимонова и др., 2014; 2015; 2017
		Территория города	Рогова и др., 2002; Федорова, 2008
	Шелехов	Территория города, алюминиевый завод (ИрАЗ)	Федорова, 2008; Королева и др., 2013; Филимонова и др., 2014; 2015; 2017; Холодова и др., 2016
	Свирск	Производство аккумуляторов, отвал бывшего мышьяков.завода	Холодова и др., 2016; Grebenshchikova et al., 2017
	Братск	Алюминиевый завод (БрАЗ)	Федорова, 2008; Янченко и др., 2013; 2014
Читинская	Чита	Территория города	Бондаревич и др., 2018; 2019
Республика Бурятия	Улан-Удэ	Территория города	Жамбалова, 2018
Республика Тыва	Кызыл	Территория города	Кара-сал, 2012; Мананков, Кара-сал, 2013; Тас-оол и др., 2016

Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по типу воздействия «аэрозольное загрязнение» показала следующее (таблица 7.2.5–7.2.6; рисунок 7.2.2). Типизация территорий по критерию и прямому признаку «уровень пылевой нагрузки» с использованием параметров оценки экологического состояния по общепринятой градации показала наличие большой группы монопрофильных и многопрофильных промышленных городов (13 городов: Омск, Томск, Стрежевой, Кемерово, Сорск, Барнаул, Горно-Алтайск и др.) и зон техногенеза (9 промышленных предприятий) на юге Сибири с низким уровнем загрязнения (таблица 7.2.5; рисунок 7.2.2; рисунок 5.2.1). Территории шести городов (Красноярск, Кызыл, Иркутск и др.) и 10 зон воздействия предприятий, расположенных, к примеру, в Кемерово, Междуреченске, Юрге, Томске и др., соответствуют среднему уровню загрязнения.

Таблица 7.2.3. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по типу воздействия «Промышленно-урбанизированное освоение территории»

Критерий		Города	
I.1 Промышленно-функциональное назначение города	I.2 Концентрация промышленных предприятий	Город	Основная отрасль промышленности*
Группа	Группа		
I.1.1 Непромышленные	–	Колпашево	Производство минерал. воды, рыбная, котельные, санаторно-курортная зона
		Горно-Алтайск	Индустрия туризма, котельные
I.1.2 Монопрофильный промышленный город (моногород**)	I.2.1 С низкой концентрацией предприятий	Юрга**	Машиностроение, ферросплавное производство
		Междуреченск**	Угледобывающая
		Киселевск**	
		Черногорск**	
		Мыски**	Теплоэнергетическая
		Новокузнецк**	Металлургическая
		Топки**	Цементное производство
		Искитим	
		Сорск**	Горнодобывающая, горно-обогатительная
		Северск**	Атомная (ядерно-топливный цикл)
		Нижевартовск	Нефтегазодобывающая
		Тобольск	Нефтехимическая
		Саяногорск**	Цветная металлургия (алюминиевая)
Шелехов**			
I.1.3 Многопрофильный промышленный город	I.2.3 С высокой концентрацией предприятий	Омск	Химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая, авиакосмическая, оборонная, машиностроительная и металлообрабатывающая
		Красноярск	Космическая, цветная металлургия (алюминиевая), машиностроение, деревообработка, химическая, гидроэнергетика
		Новосибирск	Машиностроение, приборостроение, авиационная, химическая, нефтехимическая, строительная
		Томск	Машиностроение, нефтехимическая, строительная
		Кемерово	Химическая, в т.ч. производство кокса
		Барнаул	Машиностроение и металлообработка, химическая

Таблица 7.2.3. (Окончание)

Критерий		Город	Основная отрасль промышленности*
I.1 Промышленно-функциональное назначение города Группа	I.2 Концентрация промышленных предприятий Группа		
I.1.3 Многопрофильный промышленный город	I.2.3 С высокой концентрацией предприятий	Усть-Каменогорск	Цветная металлургия (цинк, свинец, бериллий, тантал), гидроэнергетика, производство уранового сырья
		Иркутск	Авиационная, тяжелое машиностроение, оборонное, гидроэнергетика
		Павлодар	Нефтеперерабатывающая, химическая, цветная металлургия (алюминиевая)
		Тюмень	Нефтегазодобывающая, машиностроение и металлообработка, нефтеперерабатывающая
		Караганда	Машиностроение, металлургическая, горнодобывающая
	I.2.2 Со средней концентрацией предприятий	Асино	Деревообрабатывающая
		Стрежевой	Нефтегазодобывающая, нефтеперерабатывающая
		Свирск	Производство аккумуляторов, деревообрабатывающая
		Чита	Теплоэнергетическая, авиационная
		Кызыл	Деревообрабатывающая, производство стройматериалов
		Улан-Удэ	Горнодобывающая, машиностроение и металлообработка, лесная
		Братск	Цветная металлургия (алюминиевая), гидроэнергетика
		Ачинск	Производство глинозема, нефтеперерабатывающая

\* – интернет-источники, в каждом городе есть ТЭЦ, ГРЭС, котельные; \*\* – распоряжение Правительства РФ от 29.07.2014 №1398-р; Манаева, 2018

Таблица 7.2.4. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по типу воздействия «Промышленно-урбанизированное освоение территории», критерий «I.3. Численность городского населения»

Показатель, тыс. чел.	Группа	Город	Численность, тыс. чел.**
≤50	I.3.1 Малые	Асино	24,586
		Стрежевой	41,956
		Колпашево	23,127
		Топки	28,144
		Мыски	41,938
		Сорск	11,504
		Саяногорск	48,299
		Свирск	13,127
		Шелехов	47,378
50–100	I.3.2 Средние	Юрга	81,396
		Междуреченск	98,734
		Киселевск	92,210
		Искитим	57,416
		Горно-Алтайск	62,861
		Тобольск	98,772
		Черногорск	74,268
100–250	I.3.3 Большие	Ачинск	105,364
		Кызыл	115,871
		Северск	108,105
250–500	I.3.4 Крупные	Нижевартовск	270,846
		Братск	234,147
		Чита	343,511
		Улан-Удэ	430,549
		Усть-Каменогорск	331,614
		Павлодар	335,457
		Караганда	499,107
500–1000	I.3.5 Крупнейшие	Томск	569,428
		Кемерово	553,076
		Новокузнецк	551,253
		Барнаул	635,585
		Тюмень	720,575
		Иркутск	623,424
≥1000	I.3.6 Миллионники	Омск	1 178,100
		Новосибирск	1 584,138
		Красноярск	1 066,934

\* – Старовойтов, Медведева, 2008; Архипов, 2010; Манаева, 2018; \*\* – данные Федеральной службы государственной статистики (2016 г.)

Территориями с низким уровнем пылевого загрязнения *относительно фона* являются четыре промышленных города (Топки, Барнаул, Улан-Удэ, Тобольск), непромышленный город (Горно-Алтайск) и 5 зон воздействия предприятий, относящихся к нефтегазовой, атомной и нефтеперерабатывающей отрасли производства (таблица 7.2.6). Территории, соответствующие среднему уровню загрязнения относительно фона, тяготеют к четырем многопрофильным (Омск, Томск, Кемерово, Красноярск) и шести монопрофильными (Юрга, Междуреченск, Сорск и др.) промышленным городам с общей численностью населения 3 717 тыс. чел., а высокому уровню – два моногорода (Свирск, Кызыл) и два многопрофильных города (Караганда, Иркутск).

Таблица 7.2.5. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по критерию «Уровень пылевой нагрузки» с использованием параметров по общепринятым градам (Р<sub>п</sub>, мг/(м<sup>2</sup>·сут.))

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение					
Критерий - II.1.1 Уровень пылевой нагрузки					
Прямой признак - II.1.1.1.ПП.1 Уровень пылевой нагрузки					
Параметры оценки экологического состояния по общепринятым градам					
Р <sub>п</sub> *	100-250	250-450	450-850	>850	
Уровень загрязнения*	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий	
Р <sub>п</sub> **	≤200	200-300	300-500	500-800	>800
Уровень опасности**	Неопасный	Умеренно опасный	Опасный	Очень опасный	Чрезно опасн.
Город	Омск, Томск, Стрежевой, Кемерово, Междуреченск, Юрга, Топки, Сорск, Асино, Шелехов, (74***), Барнаул (57***), Улан-Удэ (53***), Горно-Алтайск (46***)	Караганда, Красноярск (216***), Свирск (281***), Кызыл (371***, 2012, 2013 гг.), Иркутск (300***)	–	–	
Зона воздействия предприятия	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ТЭЦ, промузел (г.Омск)</li> <li>•угольная шахта (Междуреченск, Черногорск)</li> <li>•ГРЭС (г.Мыски)</li> <li>•Сорский ГОК (г.Сорск)</li> <li>•НГДМ (г. Стрежевой)</li> <li>•ЯТЦ (г. Северск)</li> <li>•промзона (г.Усть-Каменогорск)</li> <li>г. Новосибирск:</li> <li>•ТЭЦ-2 (118***)</li> <li>•ТЭЦ-3 (143***)</li> <li>•ТЭЦ-5 (83***)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•алюминиевый завод (г.Красноярск)</li> <li>•ГРЭС (г.Кемерово)</li> <li>•угольный разрез (г.Междуреченск)</li> <li>•промзона (г.Юрга)</li> <li>•ТЭЦ (г.Караганда)</li> <li>•ТЭЦ (г.Северск)</li> <li>•кирпичные заводы (г.Томск)</li> <li>•металлург. комбинат (г.Новокузнецк)</li> <li>•цементный завод (г.Искитим)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•угольный разрез (г. Киселевск)</li> <li>•алюминиевый завод (г.Шелехов, 358***)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•цементный завод (г.Топки)</li> </ul>	

фактические данные по Р<sub>п</sub> см. в главе 4 и 5; \* – Геохимия..., 1990; Методические..., 1990, \*\* – Касимов и др., 2012; \*\*\* – опубликованные данные по пылевой нагрузке, ссылки см. таблица 7.2.2.

Также территории со средним и высоким уровнем загрязнения по параметрам пылевой нагрузки представлены зонами воздействия 18 предприятий с различной промышленной специализацией (теплоэнергетическая, нефтеперерабатывающая, горнодобывающая, машиностроительная, металлургическая, стройиндустрии), расположенные, к примеру, в Черногорске, Омске, Томск, Мыски, Шелехово, Новокузнецке. По косвенному признаку «уровень пылевой нагрузки» территории с около-фоновым уровнем представлены непромышленным городом (Колпашево) и монопрофильным городом (Стрежевой).

Таблица 7.2.6. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по критерию «Уровень пылевой нагрузки» с использованием параметров относительно фона ( $P_{п}$ , мг/(м<sup>2</sup>·сут.))

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение						
Критерий - II.1.1 Уровень пылевой нагрузки						
Прямой и косвенный признак - II.1.1.1.III.1 и II.1.1.1.KPI Уровень пылевой нагрузки						
$P_{п}$ , мг/(м <sup>2</sup> ·сут.)	Параметры косвенного признака	Параметры оценки экологического состояния относительно фона по прямому признаку				
	<20	20–60	60–240	240–600	≥600	
Уровень загрязнения	Около-фоновый	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий	
Город	Стрежевой, Колпашево	Топки, Горно-Алтайск*, Барнаул*, Улан-Удэ*	Омск, Кемерово, Сорск, Шелехов*, Красноярск*	Томск, Юрга, Междуреченск, Асино, Красноярск*	Караганда, Свирск*, Кызыл* (Кара-Сал, 2012, 2013 гг.), Иркутск*	–
Зона воздействия предприятия	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>•НПЗ (г.Ачинск)</li> <li>•НПЗ (г. Омск)</li> <li>•НХК, ГРЭС (г.Томск)</li> <li>•НГДМ (г. Стрежевой)</li> <li>•ЯТЦ (г.Северск)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•угольная шахта (Черногорск, Междуреченск)</li> <li>•ТЭЦ, промузел (г.Омск)</li> <li>•НПЗ (г.Павлодар)</li> <li>•ГРЭС (г. Мыски)</li> <li>•Сорский ГОК (г.Сорск)</li> <li>•промзона (г.Усть-Каменогорск)</li> <li>•заводы ЖБК (г.Томск)</li> <li>•ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-5 (г. Новосибирск*)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ГРЭС (г.Кемерово)</li> <li>•промзона и ТЭЦ (г.Юрга)</li> <li>•угольный разрез (Киселевск, Междуреченск)</li> <li>•алюминиевый завод и ТЭЦ (г.Красноярск, г.Шелехов*)</li> <li>•ТЭЦ (г.Караганда)</li> <li>•ТЭЦ и вблизи (1,5 км) ЯТЦ (г.Северск)</li> <li>•Кирзаводы (г.Томск)</li> <li>•металлург. комбинат (г.Новокузнецк)</li> <li>•цементный завод (г.Искитим)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•цементный завод (г. Топки)</li> </ul>	

фактические по данные  $P_{п}$  см. в главе 4 и 5; \* – опубликованные данные по пылевой нагрузке, ссылки см. таблица 7.2.2.

Типизация урбанизированных территорий по критерию «геохимические характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова» показывает закономерности формирования геохимических особенностей атмосферных аэрозолей в разных условиях техногенеза (таблица 7.2.7–7.2.11; рисунок 7.2.3). В результате типизации урбанизированных территорий по прямому признаку «техногенная геохимическая специализация» выделены города со специфичным техногенным геохимическим спектром элементов в нерастворимом осадке снегового покрова, формирующие уровень загрязнения выше фонового (таблица 7.2.7).



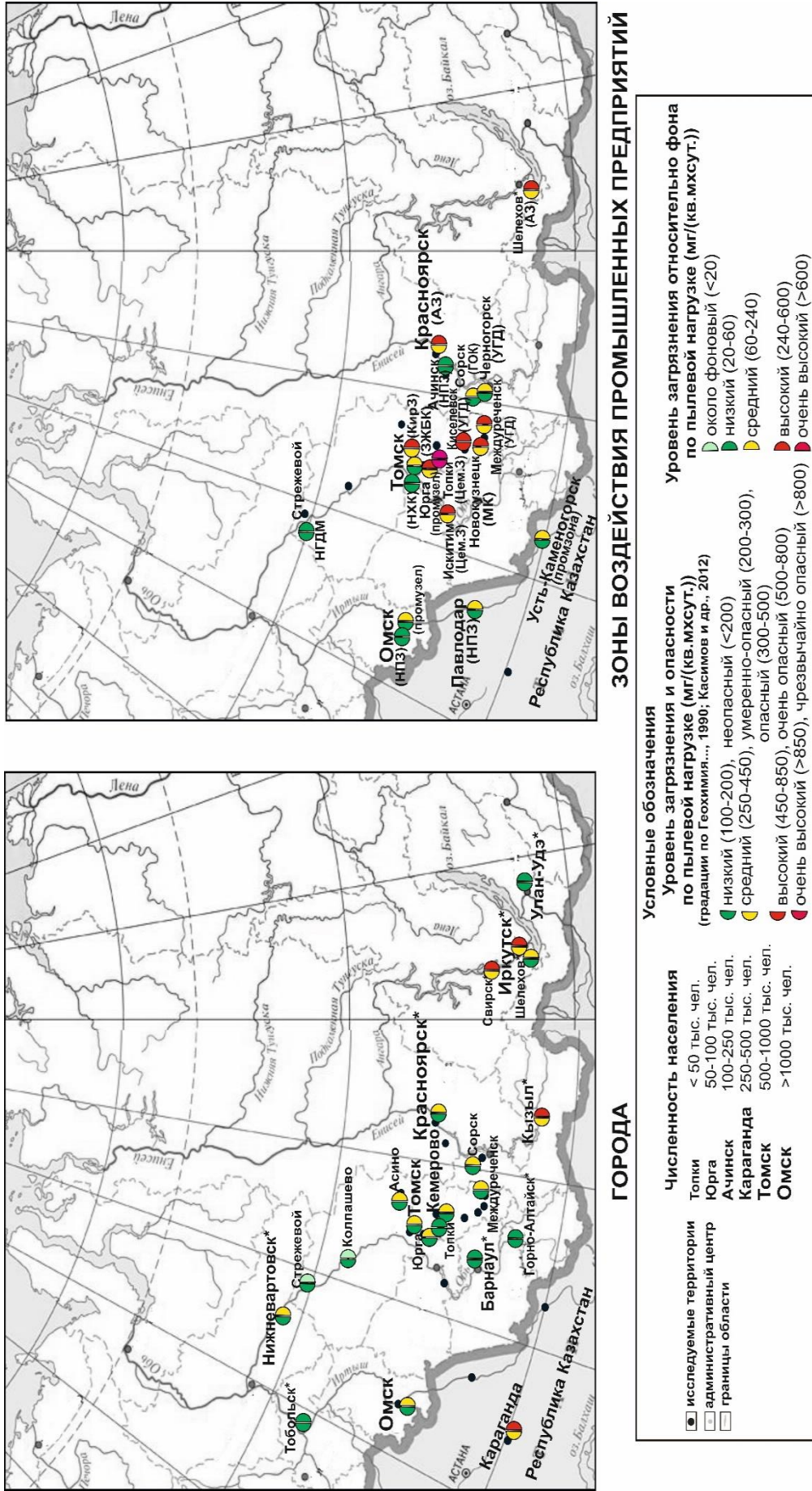


Рисунок 7.2.2. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по критерию «Уровень пылевой нагрузки»

(\* – литературные данные: г.Красноярск: Стримжа и др., 2012; г.Иркутск: Рогова и др., 2001; г.Кызыл: Кара-Сал, 2012; Мананков, Кара-Сал, 2013; г.Шелехов, г.Свирск: Холодова и др., 2016; Grebenshchikova et al., 2017, г.Барнаул: Хвостов, 2007; г.Горно-Алтайск: Ситникова, 2018; г.Улан-Удэ: Жамбалова, 2018; Нижневартовск: Пожитков и др., 2020; Тобольск: Тигеев и др., 2021; Московченко и др., 2021; сокращения: УГД – угледобывающие предприятия, НГДМ – нефтегазодобывающее месторождение, НПЗ – нефтеперерабатывающий завод, НХК – нефтехимический комбинат, ЦемЗ – цементный завод, МК – металлургический комбинат, АЗ – алюминиевый завод, КирЗ – кирпичный завод, ЗЖБК – завод по производству железобетонных конструкций, ГОК – горно-обогатительный комбинат)

Таблица 7.2.7. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Техногенная геохимическая специализация»

Тип воздействия - I.Промышленно-урбанизированное освоение	Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение		
Критерий - I.1 Промышленно-функциональное назначение	Критерий - II.2.1 Геохимические характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова		
Группа городов	Город	Основная отрасль промышленности	Техногенная геохимическая специализация
I.1.3 Многопрофильный промышленный город	Омск	Химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая, авиакосмическая, оборонная, машиностроительная и металлообработывающая	La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Sc, Br, Hf, Pr, Nd, Y, Zr, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, U, Cr, V, Sb, Hg, Zn, Pb, Al, P, Ti, Mo, Ni
	Томск	Машиностроение, нефтехимическая, строительная	Na, Zn, Sb, Cu, As, W, Mo, Ni, Bi, Hg, Br, U, Th, PЗЭ
	Кемерово	Химическая, в т.ч. производство кокса	Li, Al, Na, Sr, Ba, Cs, Hf, La, Ce, Sm, Ta, Yb, Th, U
	Стрежевой	Нефтегазодобывающая, нефтеперерабатывающая	Na, Br, Mg, Se, V, Bi
	Красноярск**	Космическая, алюминиевая, машиностроение, химическая, гидроэнергетика	V, Ni, Ti, Co, W, Be, Mo, Cu, Fe, Sn, Cd, Mn
	Тюмень**	Нефтегазодобывающая, машиностроение, нефтеперерабатывающая	Cu, Zn, Pb
	Павлодар**	Нефтеперерабатывающая, химическая, цветная металлургия (алюминиевая)	Cd, Be, Sr, Mo, Mn, Cu, V, Zn, Co, Pb, Ni, Cr
	Асино	Деревообрабатывающая	U, Hg, PЗЭ
	Кызыл**	Деревообрабатывающая, производство стройматериалов	Zn, Pb, Cu, Mn, Co, Cd, As, Hg, Ni
	Чита**	Теплоэнергетическая, авиационная	Zn, Cd, Pb, Cu
I.1.2 Монопрофильный промышленный город (моногород*)	Юрга*	Машиностроение, ферросплавное производство	Fe, Co, Ba, Sr, Hg, Sc, Rb, Cs, La, Hf, Ce, Ta, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Th, U
	Междуреченск*	Угледобывающая	Hg, Sr, Ba, Ni, V, Li, Tl, P, U, Th, Ta, Nb и PЗЭ
	Сорск*	Горнодобывающая, горно-обогатительная	Mo, Cu, Na, Mg, Al, Si, K, Fe, Ti, Cr, Mn, Sr, Nb, Sn, Ag, Cd, Ba, U, PЗЭ
	Топки*	Производство цемента	Ca, Zn, Sr
	Нижневартовск**	Нефтегазодобывающая	Mn, Ni, Fe, Zn
I.1.1 Непромышленный	Колпашево	Производство минеральной воды	Na, Zn, Sb, Ca
	Горно-Алтайск**	Индустрия туризма	Sr, W

фактические по  $Z_c$  данные см. в главе 4; в каждом городе есть ТЭЦ, ГРЭС, котельные; \*\* – опубликованные данные, см. ссылки в таблице 7.2.2

Геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова отражает «атмогеохимический портрет города», который обусловлен промышленной специализацией функционирующих предприятий, что подтверждается результатами исследований в зонах воздействия промышленных предприятий. Например, «атмогеохимический портрет» многопрофильного промышленного города-миллионника Омска составляют La, Ce и другие лантаноиды, Sc, Y, Br, Hf, Zr, U, Cr, V, Sb, Hg, Zn, Pb, Al, P, Ti, Ni, Mo; Междуреченска с угледобывающей промышленностью – Hg, Sr, Ba, Ni, V, Li, Tl, P, U, Th, Ta и РЗЭ.

Накопление в нерастворимом осадке снегового покрова химических элементов, характерных для выбросов предприятий, является основным признаком атмотехногенного воздействия этих предприятий. Это позволяет выполнять типизацию территорий *по прямому признаку «элементы-индикаторы, характеризующие воздействие производства» и косвенному признаку «сопутствующие элементы, характеризующие производство»* (таблица 7.2.8). Следовательно, техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова в зонах воздействия предприятий отражает «атмогеохимический портрет», который определяется спектром элементов-индикаторов, а также сопутствующих элементов. В данном случае, элементы-индикаторы в составе нерастворимого осадка снегового покрова – элементы, являющиеся основными компонентами в добываемом минеральном сырье, используемых материалов и продукции на предприятии, которые поступают в атмосферный воздух в составе твердых выбросов от источников загрязнения основного цикла производства. Сопутствующие элементы – элементы-примеси во вмещающих породах, в используемом сырье и добавках, поступающие с выбросами в воздух в результате технологических процессов.

Для выбора спектра индикаторных и сопутствующих химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова выполнялся анализ доступной экологической документации предприятий, результатов изучения состава сырьевых материалов (цементный завод) и промышленной пыли (цементные, кирпичные заводы, ГРЭС), литературный обзор состава производственной пыли (Геохимия..., 1990; Янин, 2002; Язиков, 2006; Касимов и др., 2016; Носенко и др., 2018), шлейфов выбросов производств (Симоненков, 2015), сырьевых материалов – уголь (Арбузов и др. 2000; 2005; 2007; 2011; 2015), нефть (Калинин и др., 2009; Яценко, 2012), известняк и глины (Цемент и известь, 2008).

Проведение типизации территорий в зоне воздействия промышленных предприятий по прямому признаку *«элементы-индикаторы, характеризующие воздействие производства»* показало, к примеру, что элементами-индикаторами техногенного воздействия цементных заводов (Искитим, Топки) является Са; Сорского ГОК – Мо и Си; объектов угольной теплоэнергетики – спектр редкоземельных элементов, уран и торий; металлургического комбината (г. Новокузнецк) – Fe, Mn, Zn, Mg, Cd, V (таблица 7.2.8.).

Таблица 7.2.8. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Элементы-индикаторы, характеризующие воздействие производства» и косвенному признаку «Сопутствующие элементы, характеризующие воздействие производства»

Город	Зона воздействия предприятия	Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение	
		Критерий - П.2.1 Геохимические характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова	
		Прямой признак	Косвенный признак
		П.2.1.ПП2. Элементы-индикаторы, характеризующие воздействие производства	П.2.1.КП1. Сопутствующие элементы, характеризующие воздействие производства
Омск	НПЗ	La, Ce, V, Cr, Al	Ni, Hg, Zn, Sb, Si, Br, Pr и др. P3Э*
	промузел (машиностроение, металлообработка и др.)	Al, Ti, V, Ni, Mo, W	Fe, Mn, Co, Zn, Cd, Ba
	ТЭЦ (каменные угли Экибастузского бассейна)	Al, Ba, Sc, Y, Zr, Sm, Gd, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf	Si, Fe, P, Mg, Mn, Co, Ti, Sr, Br, V, U, Th, P3Э
Томск	НХК	Br* <sup>1</sup>	Sb, Mn, Hg
	ГРЭС-2 (каменные угли Кузнецкого бассейна и природный газ)	Zn, Cd, Hg, W, As, U, Sb, лантаноиды	Al, K, Na, P, Fe, Ba, Be, Sr, Ni, Cu, Co, Sb, Br, Th, Zr
	Заводы ЖБК	W, Bi, Fe, Ca	Co, Ni, Zn, Mo, Cr, Mn
	Кирпичные заводы	Na, W	Al, Mg, K, Ca, V, Zr, Fe, Mn, Pb, P3Э
Северск	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	U, Th, лантаноиды, Ta, Ba, Hg	Fe, Sr
	ЯТЦ	Lu, F, Zn, U, Cs* <sup>1</sup> (U, Th, Ba, Sr, Y, Nb, Zr, P3Э* <sup>2</sup> )	–
Стрежевой	НГДМ (25 км от города)	V, Br	Na, Ni, Al, K, Si
Кемерово	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	U, Th, La, Ce, Sm, Sr, Ba, Cs, Al	Mn, Fe, Cr, Ni, P, Mg, K, Fe, Hg, Rb и др. P3Э
Юрга	Промузел (машиностроительный, ферросплавный)	Fe, Cr, Co	Ca
	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	U, Th, Ba, Sr, La, Sm, Tb, Yb, Lu, Ce, Nd, Sc, Cs	Hg, Fe, Rb, Ta
Междуреченск	Угледобывающие предприятия (Кузнецкий бассейн)	Hg, U, Ta, Sb, La, Ce и др. P3Э	Th, Sb, Ba, La, Ce, Sm, Ta и др. P3Э
Киселевск		Hg, лантаноиды	U, Th, Ba,
Новокузнецк	Металлургический комбинат	Fe, Mn, Zn, Mg, Cd, V	Si, Al, P, Cr, Ti, Ca
Мыски	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	U, Th, Hg, Co, Sr, La, Yb	Na, Cr, Fe, Mn, V, Ni, P, Th, Al, Mg, As, Ge
Топки	Цементный завод	Ca	Mg, As, Sr, Cd, Cs, Tl, Fe, Cr, Mn, Pb, P3Э
Искитим		Ca, Hg	Zn, As, Co, Mo, Cd, Sb, Sr, Tl, P3Э

Таблица 7.2.8 (Окончание)

Город	Зона воздействия предприятия	Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение	
		Критерий - П.2.1 Геохимические характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова	
		Прямой признак	Косвенный признак
		П.2.1.ПП2. Элементы-индикаторы, характеризующие воздействие производства	П.2.1.КП1 Сопутствующие элементы, характеризующие воздействие производства
Красноярск	Алюминиевый завод	Al, <u>F</u> **	Li**, Na, Ca, K, Sr
Ачинск	НПЗ	<u>V</u> , Ni	<u>Fe, Cr, Mn, Sn, Pb</u>
Сорск	ГОК	Mo, Cu	K, Al, Na, Si, Cd, Ag, Be, Fe, V, Mn, Fe, Co, U, P3Э
Черногорск	Угледобывающие предприятия (Минусинский бассейн)	Sb, Cr, Co	Cs, Ba, Br, Th
Павлодар	НПЗ	<u>V, Cr</u>	Ni, Br, Hg, <u>Sn, Mn, Sb, Na</u>
Караганда	ТЭЦ (каменные угли Экибастузского бассейна и мазут)	V, Hg, Br, Sc и др. P3Э	Al, Si, Fe, Mn, Co, Ca, Ni, Ba, U
Усть-Каменогорск	Промузел (металлургические заводы, производство уранового сырья)	U, Zn, Ta, Sb, Au	P3Э
Новосибирск*	ТЭЦ-2 (бурые угли Канско-Ачинского бассейна)	Ge, Sb	Sn, Br, Cd, U, Nb, Mo
	Оловокомбинат	Sn	As, Se, Cd, Sb, Cd, Cr, Ni
Иркутск*	ТЭЦ (бурые угли Иркутского бассейна)	Si, Fe, Mg, Mn, B	Ge, Dy, Gd, Eu, Yb
Шелехов*	Алюминиевый завод	<u>E</u> , Al	Na, As, Li, Ni, Cd, Be
Братск*			Na, Ca, K, Li
Саяногорск*			Na, Ni, Zn, Sr, V
Свирск*	Производство аккумуляторов	Pb	Cd, Sb, As, Co, Cu, Sn
	Отвалы бывшего мышьяковистого завода	As	Hg, Cu, Pb, Co, Ni, Ba, Sr, B, V, Cr, W, Mo, Sn, Sc

фактические данные см. в главе 4 и 5; \* – использованы опубликованные данные, ссылки см. в таблицу 7.2.2; \*\* – в составе снеговой воды; подчеркнутые элементы – элементы в составе выбрасываемых веществ согласно экологическим документам предприятий

Типизация территорий по прямым признакам «полиэлементное загрязнение» и «полиэлементная нагрузка», определяемые по  $Z_c$  и  $Z_p$ , соответственно, показала, что наиболее характерными для юга Сибири являются города (до 60% от изученных) и зоны техногенеза (до 45% от изученных) со средним уровнем загрязнения и опасной экологической ситуацией (таблица 7.2.8–7.2.9, рисунок 7.2.3; рисунок 5.3.9).

Таблица 7.2.8. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Полиэлементное загрязнение»

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение					
Критерий - II.2.1 Геохимические характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова					
Прямой признак «II.2.1.ППЗ Полиэлементное загрязнение»					
Параметры оценки экологического состояния по общепринятым градациям					
$Z_c^*$	32-64		64-128	128-256	>256
Уровень загрязнения*	Низкий		Средний	Высокий	Очень высокий
$Z_c^{**}$	≤32	32-64	64-128	128-256	>256
Уровень опасности**	Неопасный	Умеренно-опасн.	Опасный	Очень опасный	Чрезвычайно опасный
Город	Стрежевой, Шелехов (59***), Кызыл (41***, Кара-Сал, 2012, 2013), Горно-Алтайск (19***), Тюмень (13***), Тобольск (19***)		Томск, Междуреченск, Топки, Колпашево, Асино, Чита (72***), Нижневартовск (69***), Павлодар (69***), Нижневартовск (69***)	Омск, Кемерово, Юрга, Сорск, Кызыл (214***, Тас-оол и др., 2016)	Красноярск (351***)
Зона воздействия предприятия	<ul style="list-style-type: none"> <li>•цементный завод (г.Топки, Искитим)</li> <li>•НГДМ (25 км от г. Стрежевой)</li> <li>•угольная шахта (г. Черногорск)</li> <li>•алюминиевый завод (г.Красноярск)</li> <li>•алюминиевый завод (г.Саяногорск, 53***)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•ТЭЦ-5, промузел (г.Омск)</li> <li>•кокс.з-д (г.Кемерово)</li> <li>•Кирзаводы (г.Томск)</li> <li>•ЖБК (г.Томск)</li> <li>•НХК (г.Томск)</li> <li>•ГРЭС (г.Томск)</li> <li>•НПЗ (гг. Ачинск, Павлодар)</li> <li>•угольная шахта (г.Междуреченск)</li> <li>•угольный разрез (гг.Киселевск, Междуреченск)</li> <li>•ГРЭС (г. Мыски)</li> <li>•ГОК (г.Сорск)</li> <li>•ТЭЦ (г.Караганда)</li> <li>•металлург. комбинат (г.Новокузнецк)</li> <li>•ТЭЦ (г.Иркутск, 113***)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•промзона (г.Юрга)</li> <li>•ГРЭС (г.Кемерово)</li> <li>•промзона (г.Усть-Каменогорск)</li> <li>•ЯТЦ и ТЭЦ (г.Северск)</li> <li>•ТЭЦ и вблизи (1,5 км) ЯТЦ (г.Северск)</li> <li>•алюминиевый завод (г.Шелехов, 231***)</li> <li>•отвалы бывшего мышьяк. завода (г.Свирск, 225***)</li> </ul>	•НПЗ (г.Омск)

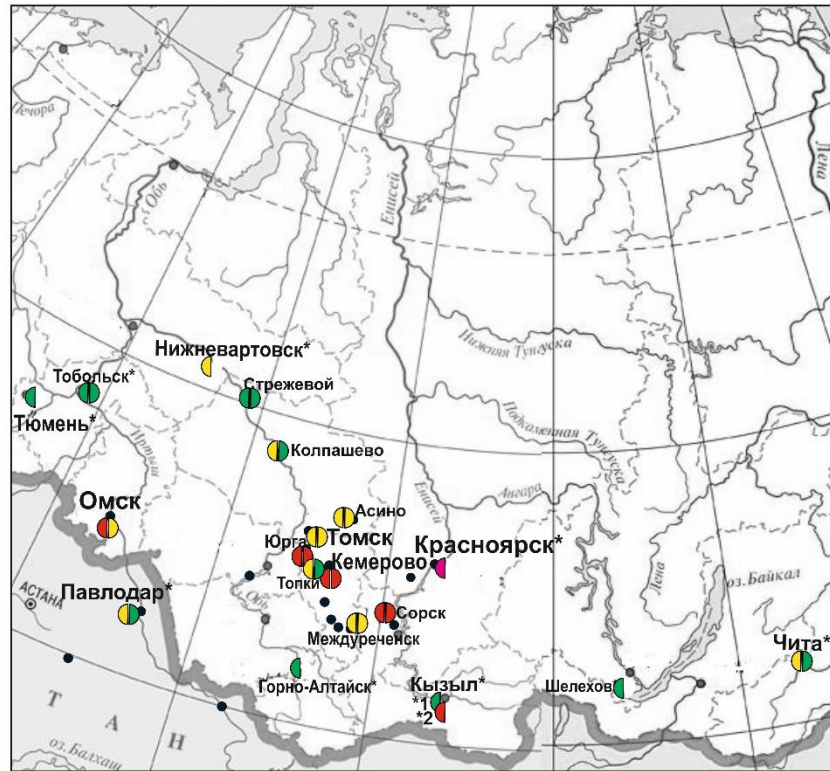
фактические данные по  $Z_c$  см. в главе 4 и 5; \* – Геохимия..., 1990; Методические..., 1990, \*\* – Касимов и др., 2012; \*\*\* – использованы опубликованные данные, ссылки см. таблицу 7.2.2

Таблица 7.2.9. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Полиэлементная нагрузка»

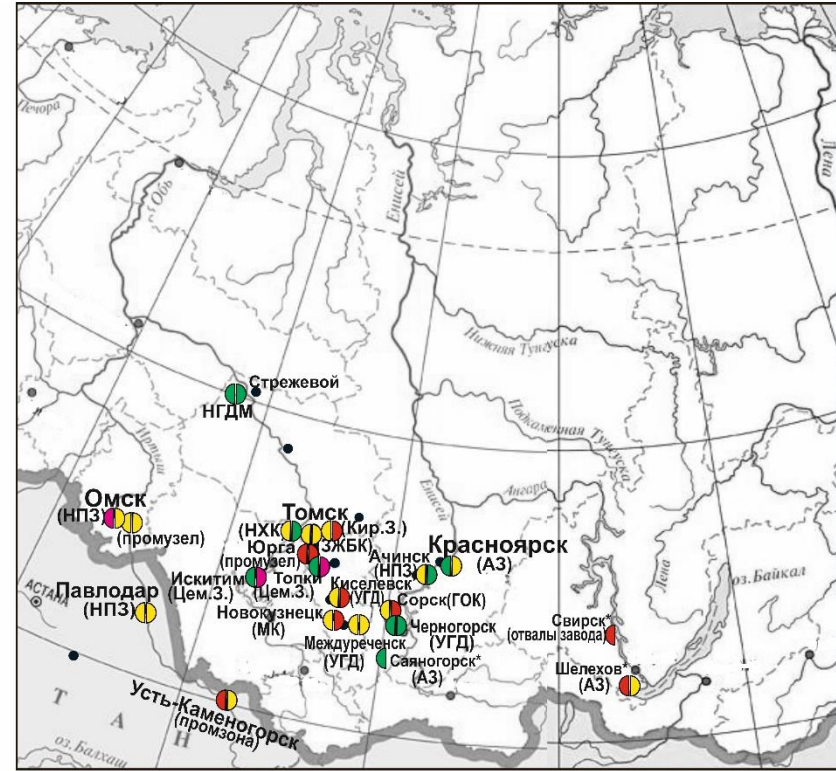
Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение					
Критерий - II.2.1 Геохимические характеристики состава нерастворимого осадка					
Прямой признак «II.2.1.ПП4 Полиэлементная нагрузка»					
Параметры оценки экологического состояния по общепринятым градациям					
$Z_p^*$	$\leq 1000$	1000-5000		5000-10000	$> 10000$
Уровень загрязнения*	Низкий	Средний		Высокий	Очень высокий
$Z_p^{**}$	$\leq 1000$	1000-2000	2000-4000	4000-8000	$> 8000$
Уровень опасности**	Неопасный	Умеренно опасный	Опасный	Очень опасный	Чрез-но опасный
Город	Стрежевой, Колпашево, Топки, Чита (493***), Павлодар (487***)	Томск, Асино, Омск, Междуреченск		Юрга, Кемерово, Сорск	–
Зона воздействия предприятия	<ul style="list-style-type: none"> <li>•НГДМ (г.Стрежевой)</li> <li>•угольная шахта (г.Черногорск)</li> <li>•ЯТЦ (г.Северск)</li> <li>•НПЗ (г.Ачинск)</li> <li>•НХК (г.Томск)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ГРЭС (г.Мыски)</li> <li>•ГРЭС (г.Томск)</li> <li>•заводы ЖБК (г.Томск)</li> <li>•угольный разрез и шахта (г.Междуреченск)</li> <li>•НПЗ (г.Павлодар)</li> <li>•НПЗ, ТЭЦ, промузел (г.Омск)</li> <li>•алюминиевый завод (г.Красноярск)</li> <li>•промзона (г.Усть-Каменогорск)</li> <li>•алюминиевый завод (г.Шелехов, 1861***)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•промзона (г.Юрга)</li> <li>•ГОК (г.Сорск)</li> <li>•угольный разрез (г.Киселевск)</li> <li>•ГРЭС (г.Кемерово)</li> <li>•металлург. комбинат (г.Новокузнецк)</li> <li>•кирпичные заводы (г.Томск)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•цементный завод (г.Топки, Искитим)</li> <li>•ТЭЦ (г.Северск)</li> <li>•ТЭЦ (г.Юрга, Караганда)</li> </ul>

фактические данные по  $Z_p$  см. в главе 4 и 5; \* – Геохимия..., 1990; Методические..., 1990, \*\* – Касимов и др., 2012; \*\*\* – использованы опубликованные данные, ссылки см. таблицу 7.2.2

Так, типизация по *прямому признаку «полиэлементное загрязнение»* выделила территории с низким уровнем загрязнения и умеренно-опасной экологической ситуацией, которые включают пять промышленных монопрофильных (Стрежевой, Шелехово, Кызыл) и многопрофильных (Тюмень, Тобольск) городов и непромышленный город (Горно-Алтайск), зоны воздействия цементных заводов (г. Искитим, г. Топки), алюминиевых заводов (г. Красноярск, г. Саяногорск), угледобывающего (г. Черногорск) и нефтегазодобывающего месторождения (г. Стрежевой). Территориями со средним уровнем загрязнения и с опасной экологической ситуацией являются 9 городов, из них два многопрофильных (Томск, Павлодар) и семь монопрофильных городов (Топки, Междуреченск, Асино и др.), с общей численностью более 1 500 тыс. человек. Эту группу территорий также составляют зоны воздействия 16 различных по производственной специфике предприятий (теплоэнергетические, нефтеперерабатывающие, нефтехимические, горнодобывающие и стройиндустрии).



## ГОРОДА



## ЗОНЫ ТЕХНОГЕНЕЗА В ГОРОДАХ

Численность населения		Условные обозначения		
■ исследуемые территории	Топки < 50 тыс. чел.	<b>Суммарный показатель загрязнения (Z<sub>c</sub>)</b> ● низкий (<64), неопасный (<200), ● умеренно-опасный (32-64) ● средний (64-128), опасный (64-128) ● высокий (128-256), очень опасный (128-256) ● очень высокий (>256), чрезвычайно опасный (>256)	<b>Уровень загрязнения и опасности</b> (градации по Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012)	
□ административный центр	Юрга 50-100 тыс. чел.			<b>Суммарный показатель нагрузки (Z<sub>p</sub>)</b> ● низкий (<1000) ● средний (1000-5000), умеренно-опасный (1000-2000) ● опасный (2000-4000) ● высокий (5000-10000), очень опасный (4000-8000) ● очень высокий (>10000), чрезвычайно опасный (>8000)
▭ границы области	Ачинск 100-250 тыс. чел.			
	Караганда 250-500 тыс. чел.			
	Томск 500-1000 тыс. чел.			
	Омск >1000 тыс. чел.			

Рисунок 7.2.3. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по критерию «П.2.1 Геохимические характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова», прямым признакам «П.2.1.ППЗ Полиэлементное загрязнение» и «П.2.1.ПП4 Полиэлементная нагрузка» (фактические по  $Z_c$  и  $Z_p$  данные см. в главе 4; для объектов теплоэнергетики схема в главе 5; \* – литературные данные, ссылки см. таблицу 7.2.2.; сокращения: УГД – угледобывающее предприятие, НГДМ – нефтегазодобывающее месторождение, НПЗ – нефтеперерабатывающий завод, НХК – нефтехимический комбинат, ЦемЗ – цементный завод, МК – металлургический комбинат, АЗ – алюминиевый завод, КирЗ – кирпичный завод, ЗЖБК – завод по производству железобетонных конструкций, ГОК – горно-обогатительный комбинат)



Территории, соответствующие высокому уровню загрязнения с очень опасной ситуацией, относятся к пяти городам (Омск, Кемерово, Юрга, Сорск, Кызыл) с общей численностью более 1800 тыс. чел., а также зоны воздействия алюминиевого завода (г. Иркутск), ЯТЦ и ТЭЦ (г. Северск), ГРЭС (г. Кемерово), промышленных зон в моногородах Юрга и Свирск, многопрофильном промышленном городе Усть-Каменогорск. Территории с очень высоким уровнем загрязнения и чрезвычайно опасной ситуацией включают Красноярск и зону воздействия НПЗ в Омске.

Типизация территории *по прямому признаку «полиэлементная нагрузка»* показывает, что территориями с низким уровнем загрязнения и неопасной экологической ситуацией являются пять монопрофильных промышленных городов (Стрежевой, Колпашево и др.) и многопрофильный город (Павлодар). Средним уровнем полиэлементной нагрузки, умеренно-опасной и опасной ситуацией характеризуются два многопрофильных города с высокой концентрацией предприятий (Томск, Омск) и два монопрофильных города (Асино, Междуреченск), зоны воздействия 12 промышленных предприятий – объекты теплоэнергетики, угледобывающей, нефтеперерабатывающей и металлургической (цветная) отрасли производства. Территориями с высоким уровнем загрязнения и очень опасной экологической ситуацией являются два моногорода (Юрга, Сорск) и многопрофильный город с высокой концентрацией предприятий (Кемерово), зоны воздействия 7 промышленных предприятий, к примеру, промзона с машиностроительным и ферросплавным производством (Юрга) и металлургическим (черная) производством (Новокузнецк). Очень высокий уровень загрязнения и чрезвычайно опасная ситуация характерны для зоны воздействия цементных заводов (Топки, Искитим) и угольных ТЭЦ (Северск, Караганда).

Типизация территорий *по прямому признаку «формы нахождения радиоактивных элементов в виде микровключений»* наиболее отчетливо выделяет зону воздействия предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ, г. Северск), где формируется высокий уровень загрязнения радионуклидами в виде микровключений, определяемый по плотности треков в виде «звезд» и отдельных сгустков скоплений треков от осколков деления радионуклидов в нерастворимом осадке снегового покрова (таблица 7.2.10). Этот прямой признак отчетливо разделяет воздействие радиационно-опасных объектов от предприятий другой промышленной специализации. Наличие высокой плотности отдельных сгустков скоплений треков от осколков деления радионуклидов характерно для районов расположения угледобывающих предприятий (г. Междуреченск) и объектов теплоэнергетики (ГРЭС, г. Томск). Типизация территорий *по косвенному признаку «рассеянная форма радиоактивных элементов»* показывает, что территориями с высоким уровнем загрязнения радионуклидами в рассеянной форме являются зоны воздействия предприятий ЯТЦ (г. Северск) и объекты теплоэнергетики (г. Томск).

Таблица 7.2.10. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Формы нахождения радиоактивных элементов в виде микровключений» и косвенному признаку «Рассеянная форма радиоактивных элементов»

Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение					
Критерий - П.2.1 Геохимические характеристики состава нерастворимого осадка					
Город/ Предприятие	Прямой признак			Косвенный признак	
	П.2.1.ПП5 Формы нахождения радиоактивных элементов в виде микровключений			П.2.1.КП2 Рассеянная форма радиоактивных элементов	
	Параметры оценки экологического состояния				
	Радиально-лучистое скопление треков, «звезда»/см <sup>2</sup>	Отдельные сгустки скоплений треков, скопление/см <sup>2</sup>	Уровень загрязнения	Равномерное распределение треков, трек/мм <sup>2</sup>	Уровень загрязнения
Томск	н.о.	1,2	Высокий	3354±551	Высокий
Междуреченск	н.о.	0,7	Высокий	1350±385	Низкий
Стрежевой	н.о.	н.о.	Низкий	1869±962	Высокий
ГРЭС (г. Томск)	н.о.	0,3	Низкий	5788±538	Высокий
ЯТЦ и ТЭЦ (г. Северск, северо-восточная зона воздействия)	1,3	1,1	Высокий	3263±467	Высокий
ЯТЦ и ТЭЦ (г. Северск, юго-западная зона воздействия)	0,8	0,9	Высокий	3046±541	Высокий
Фон	н.о.	н.о.	Низкий	1146±281	Низкий

метод анализа – f-радиография; н.о. – не определено; фон – обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН, ± – стандартная ошибка

Типизация урбанизированных территорий по критерию «минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова» показывает закономерности формирования минерально-вещественных особенностей атмосферных аэрозолей в зависимости от промышленной специализации функционирующих предприятий (таблица 7.2.10–7.2.17; рисунок 7.24–7.2.5). Типизация территорий по этому критерию позволила выделить минерально-вещественные индикаторы нерастворимого осадка снегового покрова для идентификации промышленного источника среди множества других на урбанизированных территориях. Результаты типизации по рассматриваемому критерию позволяют говорить о «атмотехногенным минерально-вещественном портрете урбанизированных территорий».

По минералого-вещественным признакам выделена на юге Сибири большая группа городов (до 80% из изученных) и зон воздействия промышленных предприятий (до 45%) со средним и высоким уровнем загрязнения техногенными образованиями, отражающие специфику воздействие функционирующих производств.

По результатам выполненной типизации территорий по прямому признаку «Типы техногенных частиц-индикаторов, характеризующие воздействие производства» определено,

что преобладающими видами техногенных частиц в нерастворимом осадке снегового покрова урбанизированных территорий являются угольные, сажеподобные частицы, зола и шлак, микросферы, характеризующие воздействие объектов теплоэнергетики за счет интенсификация их работы в зимний период. Зоны воздействия предприятий отчётливо выделяются по наличию индикаторных техногенных частиц в нерастворимом осадке снеговой покрова (таблица 7.2.11). Так, предприятия угледобывающей промышленности, к примеру, угольные разрезы и шахты г. Междуреченск и г. Киселёвска, отличаются по присутствию в нерастворимом осадке снеговой покрова угольных частиц и угольной пыли, машиностроения и металлообработки в Юрге и черной металлургии в Новокузнецке – металлических микросферул и металлургического шлака, цементного производства в Топках и Искитиме – цементной пыли, производства строительной минеральной ваты в Юрге – стекловолокна.

Типизация территорий юга Сибири показывает, что территориями с низким *уровнем загрязнения техногенными частицами-индикаторами* являются зоны воздействия двух промышленных узлов, расположенных в Юрге и Усть-Каменогорске, со средним уровнем – восемь зон воздействия объектов теплоэнергетики в Мысках, Северске, Томске, Омске, Караганде, металлургического комбината в Новокузнецке, производства ЖБК в Томске, промузла с предприятиями машиностроения и металлообработки в Омске, с высоким уровнем – три зоны воздействия с наличием кирпичных заводов в Томске, нефтегазодобывающих предприятий около Стрежевого, ГРЭС в Кемерово, с очень высоким – зоны воздействия двух предприятий угледобывающей промышленности в Междуреченске и Киселевске, двух цементных заводов, расположенных в Топках и Искитиме (таблица 7.2.14; рисунок 7.2.5).

Типизация территорий по *косвенному признаку «Соотношение группы природных и группы техногенных образований (частиц)»* объединила урбанизированные территории с разными условиями техногенеза в зависимости от уровня загрязнения техногенными образованиями (рисунок 7.2.4, таблица 7.2.15; рисунок 5.4.1). Территориями с низким уровнем загрязнения являются зона воздействия Сорского ГОКа, со средним уровнем – четыре города (Асино, Стрежевой, Колпашево, Сорск) и пять зон воздействия предприятий (кирпичные заводы в Томске, нефтегазодобывающее предприятие около Стрежевого, НПЗ в Омске и Ачинске, промзона в Усть-Каменогорске), с высоким уровнем – пять городов (Омск, Кемерово, Междуреченск, Юрга, Асино) и 13 зон воздействия предприятий (объекты теплоэнергетики, алюминиевый завод, промзоны с предприятиями машиностроения и металлообработки, угледобычи и др.), с очень высоким уровнем – восемь зон воздействия предприятий (цементное производство, металлургические и др.).

Таблица 7.2.11. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по признакам, отражающие виды техногенных образований, характеризующие воздействие производства, в нерастворимом осадке снегового покрова

Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение				
Критерий - П.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова				
Город	Предприятие/ промузел	Прямой признак		Косвенный признак
		П.3.1.ПП1 Типы техногенных частиц-индикаторов	П.3.1.ПП2 Техногенные минералы-индикаторы	П.3.1.КП2-1. Сопутствующие минералы
Омск	НПЗ	–	Лизардит ( $(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), цеолит ( $\text{Na}_8\text{H}_{10}(\text{Al}_{17}\text{Si}_{174}\text{O}_{384})$ )	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), микроклин ( $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), клинохлор ( $(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ )
	промузел (машиностроение, металлообработка)	Микросферулы (металлические (железосодержащие))	Оксиды железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), микроклин ( $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), доломит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ )
	ТЭЦ (каменные угли Экибастузского бассейна)	Микросферулы (алюмосиликатные, смешенные алюмосиликатно-железистые, железистые), зола и шлак, угольные и сажеподобные	Муллит ( $\text{Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{10}$ )	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), микроклин ( $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), анортит ( $(\text{Ca,Na})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$ ), мусковит ( $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ), каолинит ( $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), оксиды железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
Томск	ГРЭС-2 (каменные угли Кузнецкого бассейна и природный газ)	Микросферулы (алюмосиликатные, смешенные алюмосиликатно-железистые, железистые, лантан-цериевые, иттриевые), зола и шлак, угольные и сажеподобные	Муллит ( $\text{Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{10}$ ), кристобалит ( $\text{SiO}_2^*$ )	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), микроклин ( $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8^*)$ ), мусковит ( $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ), доломит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3^*$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3^*$ ), хлорит, оксиды железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), диопсид ( $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ )
	Заводы ЖБК	Цементная пыль	Волластонит ( $\text{CaSiO}_3$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ )	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), диопсид ( $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ )
	Нефтехимический комбинат	Микропластик (полиэтилен- подобные)	–	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), альбит ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ )
	Кирпичные заводы	Кирпичная крошка	–	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ), доломит ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), мусковит ( $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ),
Северск	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Микросферулы (алюмосиликатные, смешенные алюмосиликатно-железистые, железистые, иттриевые), зола и шлак, угольные и сажеподобные	Муллит ( $\text{Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{10}$ )	Кварц ( $\text{SiO}_2$ ), ортоклаз ( $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ ), оксиды железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Таблица 7.2.11. (Продолжение)

Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение				
Критерий - П.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова				
Город	Предприятие/ промузел	Прямой признак		Косвенный признак
		П.3.1.ПП1 Типы техногенных частиц-индикаторов	П.3.1.ПП2 Техногенные минералы-индикаторы	П.3.1.КП2-1. Сопутствующие минералы
Северск	ЯТЦ	–	графит**	н.д.
Кемерово	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Микросферулы (алюмосиликатные, смешенные алюмосиликатно-железистые, железистые)	Муллит ( $Al_5Si_2O_{10}$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), ортоклаз ( $K[AlSi_3O_8]$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), кальцит ( $CaCO_3$ )
Юрга	Промзона (машиностроение, ферросплавное производство)	Микросферулы (металлические (железосодержащие)), металлургический шлак	Оксиды железа ( $Fe_2O_3$ ), кремний (Si)	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ),
	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Микросферулы (алюмосиликатные, смешенные алюмосиликатно-железистые, железистые)	Муллит ( $Al_5Si_2O_{10}$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), оксиды железа ( $Fe_2O_3$ )
	Производство минеральных строительных утеплителей	Стекловолокно	–	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), оксиды железа ( $Fe_2O_3$ )
Междуреченск	Угледобывающие предприятия (Кузнецкий бассейн)	Угольная пыль	–	Кварц ( $SiO_2$ ), мусковит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ )
Киселевск			–	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), кальцит ( $CaCO_3$ )
Мыски	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Микросферулы (алюмосиликатные, смешенные алюмосиликатно-железистые, железистые), зола и шлак, угольные и сажеподобные	Муллит ( $Al_5Si_2O_{10}$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), доломит ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ), оксиды железа ( $Fe_2O_3$ )
Топки	Цементный завод	Цементная пыль, Са-содержащие микросферулы с примесями тяжелых металлов	Кальцит ( $CaCO_3$ ), браунмиллерит ( $Ca_2Al_2O_5$ ), хатрурит ( $Ca_3SiO_5$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), микроклин ( $K(AlSi_3O_8)$ ), мусковит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ ),
Искитим		Цементная пыль		Кварц ( $SiO_2$ ), магнезит ( $MgCO_3$ ) и др.

Таблица 7.2.11. (Продолжение)

Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение				
Критерий - П.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова				
Город	Предприятие/ промузел	Прямой признак		Косвенный признак
		П.3.1.ПП1 Типы техногенных частиц-индикаторов	П.3.1.ПП2 Техногенные минералы-индикаторы	П.3.1.КП2-1. Сопутствующие минералы
Новокузнецк	Металлургический комбинат	Микросферулы (железосодержащие (металлические), барий-и свинец содержащие), металлургический шлак	Оксиды железа ( $Fe_2O_3$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), мусковит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ ), анортит ( $(Ca,Na)(Si,Al)_4O_8$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ )
Красноярск	Алюминиевый завод	–	Корунд ( $Al_2O_3$ ), криолит ( $Na_3AlF_6$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), ортоклаз ( $K[AlSi_3O_8]$ )
Ачинск	НПЗ	–	–	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), клинохлор ( $(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ ), ортоклаз ( $K[AlSi_3O_8]$ )
Павлодар				Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), мусковит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ ),
Сорск	ГОК	–	Молибденит ( $MoS_2$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), микроклин ( $K(AlSi_3O_8)$ ), мусковит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ ), ортоклаз ( $K[AlSi_3O_8]$ ), клинохлор ( $(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ ), кальцит ( $CaCO_3$ ), актинолит, флогопит, каолинит
Усть-Каменогорск	Промузел (металлург. заводы, производство уранового сырья)	Металлургический шлак	н.д.	н.д.
Караганда	ТЭЦ (каменные угли Экибастузского бассейна и мазут)	Микросферулы (алюмосиликатные, смешанные алюмосиликатно-железистые, железистые), зола и шлак, угольные и сажеподобные	Муллит ( $Al_5Si_2O_{10}$ )	Кварц ( $SiO_2$ ), альбит ( $Na(AlSi_3O_8)$ ), мусковит ( $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ ), клинохлор ( $(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$ ), каолинит ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), оксиды железа ( $Fe_2O_3$ )

Таблица 7.2.11. (Окончание)

Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение				
Критерий - П.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова				
Город	Предприятие/ промузел	Прямой признак		Косвенный признак
		П.3.1.ПП1 Типы техногенных частиц-индикаторов	П.3.1.ПП2 Техногенные минералы-индикаторы	П.3.1.КП2-1. Сопутствующие минералы
Шелехов***	Алюминиевый завод	н.д.	Корунд ( $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20%); $\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +xAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (80%))	н.д.
Братск***		н.д.	Корунд ( $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (12%); $\theta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + $\delta$ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (83%))	Кварц (SiO <sub>2</sub> ; 2%), плагиоклаз (3%)
Новосибирск	ТЭЦ-2 (бурые угли Канско-Ачинского бассейна)	Микросферулы (алюмосиликатные)	н.д.	н.д.
Иркутск***	ТЭЦ	Микросферулы	Муллит, магнетит, аморфный кварц, оксиды кальция и магния, анкерит	н.д.
	Город	н.д.	Муллит (Al <sub>6</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>13</sub> ) (6%)	Кварц (35%), альбит, ортоклаз, гематит, плагиоклаз (29%), ортоклаз (26%), амфибол (4%)
Свирск***	Отвалы бывшего мышьяковистого завода	н.д.	Эвхроит, касситерит, битумы, графит, асбест	н.д.

\* – качественное содержание минералов (Таловская, 2008); \*\* – данные электронной растровой микроскопии (Язиков, 2006); \*\*\* – опубликованные данные рентгеноструктурного анализа для алюминиевых заводов г. Шелехов и г. Братск (Федорова, 2008) и территории г. Иркутска (Рогова и др., 2002; Федорова, 2008); сканирующей электронной микроскопии для отвалов г. Свирск (Холодова и др., 2016) и ТЭЦ г. Иркутск (Филимонова, 2017); н.д. – нет данных

Таблица 7.2.12. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Техногенные металлосодержащие микрочастицы-индикаторы, характеризующие воздействие производства»

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение						
Критерий - II.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова						
Прямой признак - II.3.1.ППЗ Техногенные металлосодержащие микрочастицы-индикаторы, характеризующие воздействие производства						
Город	Предприятие	Типы и виды металлосодержащих микрочастиц				
		Me-S (сульфиды?)	Me-S-O (сульфаты?)	Me-O (оксиды Me)	Интерметаллиды (Me-Me)	Содержащие РЗЭ
Омск	НПЗ	–	–	La-Ce-O	Fe-Cr-Mn; V-Ni-Cu-Zn-Fe; Fe-Cr-Cu-Ni	La-Ce-Nd-сферулы (La, Ce, Nd, Fe, Si, Al, O); фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, Pr, P, Th, O); Ce-Zr
	промузел (машиностроение, металлообработка)	–	–	–	Cu-Fe-Sn-Ti; Cr-Fe-Mo-V-W	Ce-Fe-Ti
	ТЭЦ (каменные угли Экибастуз. бассейна)	–	Ba-S-O	Zr-Si-Al-O; U-O	–	фосфаты иттриевые (Y, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, U, P, O); фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, P; O)
Томск	ГРЭС-2 (каменные угли Кузнецкого бассейна и природный газ)	Zn-Fe-S; Fe-As-S	–	–	W-Ti-Fe; Cu-Sn-Co-Zn-Fe	La-Ce-сферулы (La, Ce, P, Si, Al, O); Y-Gd-Dy-сферулы (Y, Gd, Gy, P, Si, Al, Fe, O); фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, P; O)
	Заводы ЖБК	Fe-S; Fe-As-S; Fe-Cu-S	–	Fe-O; Ca-O**	Ti-Fe-Ni; Fe-Cr-Mn	–
	Кирпичные заводы	–	–	W-O	–	–
Северск	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Ba-Zn-S	Ba-S-O	U-O	–	фосфаты иттриевые (Y, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, U, P, O); фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, P; O)
	ЯТЦ*	–	–	U-O	–	–
Кемерово	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	–	Ba-S-O	–	–	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, Pr, Sm, Th, P, O)
Юрга	Промузел (машиностроение, ферросплавное производство)	Fe-S; As-Fe-S; Cu-Fe-S	–	Fe-O; Ca-Fe-O (в шлаке)	Fe-Si; Cu-Sn-Fe; Mn-Fe; Fe-Cr-Ni-Bi; Fe-Mn-Cr, Cu-Zn	–
	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Hg-S	Ba-S-O	–	–	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, Sm, Pr, P, O)



Таблица 7.2.12 (Окончание)

Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение						
Критерий - П.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова						
Прямой признак - П.3.1.ППЗ Техногенные металлосодержащие микрочастицы-индикаторы, характеризующие воздействие производства						
Город	Предприятие	Типы и виды металлосодержащих микрочастиц				
		Me-S (сульфиды?)	Me-S-O (сульфаты?)	Me-O (оксиды Me)	Интерметаллиды (Me-Me)	Содержащие РЗЭ
Междуреченск	Город (котельные, угледобывающие)	Fe-Ni-S	Ba-S-O	Ni-O; La-Ce-O	–	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, P, O); фосфаты иттриевые (Y, Gd, Dy, Si, Al, Th, P, O); оксиды (La, Ce, O)
Киселёвск	Угледобывающие предприятия (Кузнецкий бассейн)	–	–	–	–	фосфаты иттриевые (Y, Ga, Dy, Er, Yb, Tb, Tm, Ho, Si, Al, Th, P, O)
Новокузнецк	Металлургический комбинат	–	–	Fe-O; Fe-Mn-Mg-O	Fe-Zn-Pb-Mn	–
Топки	Цементный завод	–	–	Ca-O**	–	–
Искитим		–	–	Ca-O**	–	–
Красноярск	Алюминиевый завод	–	–	Al-O	Al-Na-F	–
Ачинск	НПЗ	–	–	Sn-Ni-Fe-O; Ni-Cr-Fe-O	Ni-V-Fe-Zn-Ti	–
Сорск	Сорский ГОК	Cu-Fe-S; Mo-S	–	Fe-Cu-O	–	–
Павлодар	НПЗ	Cr-Fe-S	–	–	Cr-Fe	–
Караганда	ТЭЦ (каменные угли Экибастуз. бассейна)	–	Ba-S-O с примесью Br	U-O	–	микрочастицы сложного состава (U-Ta-Nb-O-Ca-Mn-Fe)
Усть-Каменогорск	Промузел (металлург. заводы, производство уранового сырья)	Zn-Cu-S; Zn-S; Pb-S	–	U-O; Zn-Cu-O; Cu-O; Bi-O	Pb-Fe-Sb	–
Асино, Колпашево	Угольная котельная	–	–	–	–	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, P, O)
Новосибирск*						
Шелехов*	Алюминиевый завод	–	–	Al-O	Al-Na-F	–
Братск*						
Саяногорск*						

данные сканирующей электронной микроскопии; \* – использованы опубликованные данные, ссылки см. таблицу 7.7.2; \*\* – возможно карбонаты

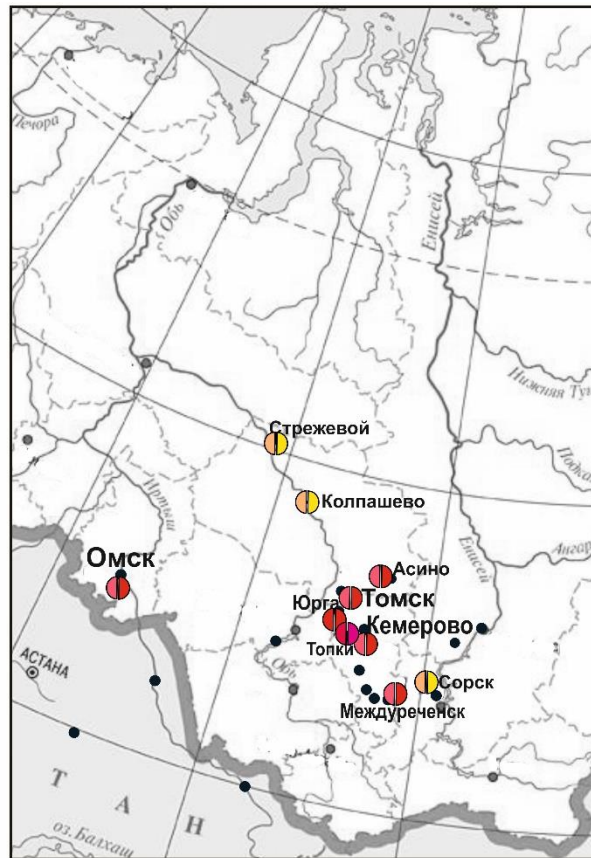
Таблица 7.2.13. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по косвенному признаку «Сопутствующие металлосодержащие микрочастицы, характеризующие воздействие производства»

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение						
Критерий - II.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова						
Прямой признак - II.3.1.КПЗ. Сопутствующие металлосодержащие микрочастицы, характеризующие воздействие производства						
Город	Предприятие	Типы и виды металлосодержащих микрочастиц				
		Me-S (сульфиды?)	Me-S-O (сульфаты?)	Me-O (оксиды Me)	Интерметаллиды (Me-Me)	Содержащие РЗЭ
Омск	НПЗ	Fe-Ni-S	–	Zr-Si-O; Zn-O	W-Ni-Fe	–
	промузел (машиностроение, металлообработка)	Fe-S; Ag-S; Zn-S	–	Fe-O; Ag-O; Cr-O	Au-Ag-Cu; Cu-Fe-Sn; Pb-Zn-Sb-Fe; W-Sb	–
	ТЭЦ-5 (каменные угли Экибастузского бассейна)	Fe-S	–	Fe-O; Ti-O	Cu-Fe-Sn-Ti; Cr-Fe; Co-Cu-Sn-Fe; W-Mn	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, Th, P, O)
Томск	ГРЭС-2 (каменные угли Кузнецкого бассейна и природный газ)	Fe-S; Sb-S	Ba-S-O	Ba-O	Pb-Sb-Fe-Ti	–
	Заводы ЖБК	Zn-S	–	Zn-O	Ni-Cu-Cr; Cu-Zn	–
	Кирпичные заводы	–	–	Zr-Si-Al-O	–	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, Pr, Sm, Th, P, O)
Северск	ТЭЦ (каменные угли Кузнецкого бассейна)	–	–	Fe-O; Zr-Si-Al-O	–	–
Стрежевой	НГДМ (от города)	–	–	–	Fe-Cr-Ni	–
Кемерово	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Fe-S	–	Fe-O	Fe-Zn; Fe-Cu	–
Юрга	Промзона	Pb-S, Sb-S	–	Fe-O; Ti-O, Al-O; Ba-O	–	–

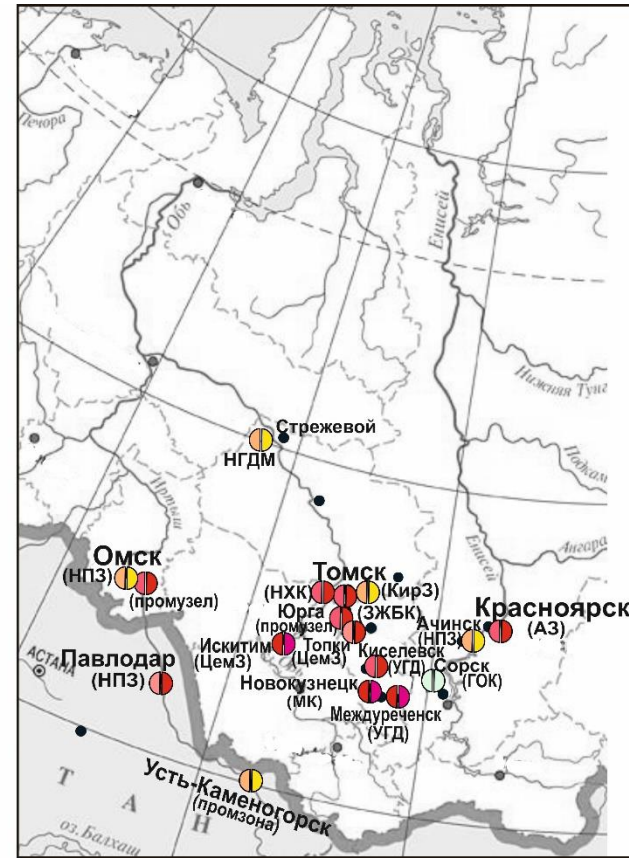
Таблица 7.2.13. (Окончание)

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение						
Критерий - II.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова						
Прямой признак - II.3.1.КПЗ. Сопутствующие металлосодержащие микрочастицы, характеризующие воздействие производства						
Город	Предприятие	Типы и виды металлосодержащих микрочастиц				
		Me-S (сульфиды?)	Me-S-O (сульфаты?)	Me-O (оксиды Me)	Интерметаллиды (Me-Me)	Содержащие РЗЭ
Киселевск	Угольный разрез	Fe-S	Ba-S-O	Fe-O	–	фосфаты иттриевые (Y, Ga, Dy, Er, Yb, Tb, Tm, Ho, Si, Al, Th, P, O)
Новокузнецк	Металлургический комбинат	–	–	Ca-O**	–	–
Мыски	ГРЭС (каменные угли Кузнецкого бассейна)	Fe-S	Ba-S-O	Fe-O; Fe-Ti-O	–	–
Топки	Цементный завод	Fe-S	–	Fe-O; Zr-Si-O; Pb-O	Fe-Zn-Mn; Pb-Cd-Fe; Fe-Zn-Cu-Cr	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, P, O)
Искитим		As-S	–	Zn-O	–	–
Ачинск	НПЗ	Fe-S; As-Fe-S	–	Pb-O	Fe-Mn-Ti; Cr-Fe-Mn; Fe-Cr-Ti	–
Сорск	Сорский ГОК	Fe-S	Ba-S-O	Fe-O; Fe-Ti-O; Ag-O	–	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, P, O)
Павлодар	НПЗ	Hg-S	–	Fe-Mn-O	Cu-Sn-Pb	–
Караганда	ТЭЦ (каменные угли Экибастуз. бассейна)	Fe-S; Fe-Cu-S	Ba-S-O	Fe-O	–	–
Усть-Каменогорск	Промузел (металлург. заводы, производство уранового сырья)	–	–	–	–	фосфаты цериевые (La, Ce, Nd, Th, P, O)
Асино	Угольная котельная	Fe-S; Cu-Fe-S; Cu-Zn-S	Ba-S-O	Fe-O; Zr-Si-O	Cu-Zn	–
Колпашево		Fe-S; Fe-Zn-S	Ba-S-O	–	–	–

метод сканирующей электронной микроскопии; \*\* – возможно карбонаты



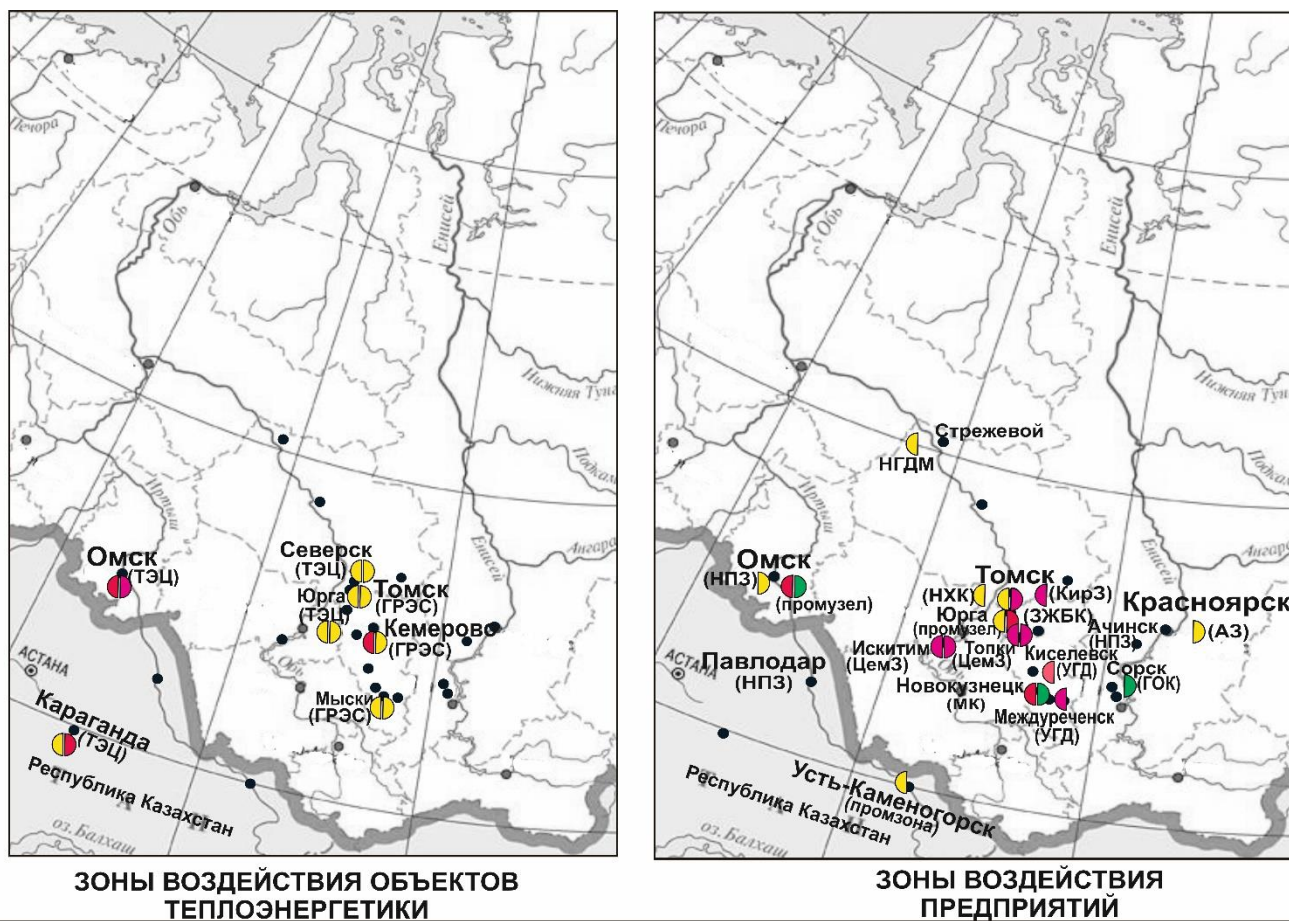
ГОРОДА



ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Численность населения		Условные обозначения			
		Уровень загрязнения техногенными образованиями			
		Доля природных частиц, %	Доля техногенных частиц, %		
●	исследуемые территории	○	фоновый (>76)	○	фоновый (<24)
□	административный центр	○	высокий (65-75)	○	низкий (25-35)
—	границы области	○	средний (40-65)	○	средний (35-60)
●	Топки < 50 тыс. чел.	○	низкий (15-40)	○	высокий (60-85)
●	Юрга 50-100 тыс. чел.	○	очень низкий (<15)	○	очень высокий (>85)
●	Ачинск 100-250 тыс. чел.				
●	Караганда 250-500 тыс. чел.				
●	Томск 500-1000 тыс. чел.				
●	Омск >1000 тыс. чел.				

Рисунок 7.2.4. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по косвенному признаку «П.3.1.КП1. Соотношение группы природных и группы техногенных образований» (фактические данные см. в главе 4; сокращения: см. рис. 7.2.3; для объектов теплоэнергетики схема в главе 5)



Условные обозначения			
<ul style="list-style-type: none"> <li>● исследуемые территории</li> <li>□ административный центр</li> <li>▭ границы области</li> </ul>	<b>Численность населения</b> Топки < 50 тыс. чел. Юрга 50-100 тыс. чел. Ачинск 100-250 тыс. чел. Караганда 250-500 тыс. чел. Томск 500-1000 тыс. чел. Омск >1000 тыс. чел.	<b>Уровень загрязнения техногенными образованиями-индикаторами</b> <b>Доля техногенных частиц-индикаторов, %</b> фондовый (<10) низкий (10-15) средняя (15-25) высокий (25-35) очень высокий (>35)	<b>Отношение минерал-индикатор/кварц, ед</b> низкий (<0,1) средний (0,1-1,0) высокий (1,0-2,5) очень высокий (>2,5)

Рисунок 7.2.5. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямым признакам «П.3.1.ПП1 Типы техногенных частиц-индикаторов, характеризующие воздействие производства» и «П.3.1.ПП2 Техногенные минералы-индикаторы, характеризующие воздействие производства» (фактические данные см. в главе 4 и 5; сокращения: см. рис. 7.2.3)

Типизация территорий по *прямому признаку* «Техногенные минералы-индикаторы, характеризующие воздействие производства» отчетливо дифференцирует предприятия различной промышленной специализации по атмотехногенному воздействию (таблица 7.2.11). Так, цеолит и лизардит являются индикаторными в нерастворимом осадке снегового покрова в зоне воздействия НПЗ (г. Омск), кальцит, браунмиллерит и хатрурит – цементных заводов (г. Топки, г. Искитим), волластонит – заводов по производству ЖБК (г. Томск), корунд и криолит – алюминиевых заводов (г. Красноярск, г. Шелехово), муллит – объектов теплоэнергетики, металлургического комбината (г. Новокузнецк), промышленных зон с предприятиями машиностроения и металлообработки (Юрга, Омск) – оксиды железа.

Таблица 7.2.14. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Типы техногенных частиц-индикаторов, характеризующие воздействие производства»

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение					
Критерий - II.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова					
Прямой признак - II.3.1.III Типы техногенных частиц-индикаторов, характеризующие воздействие производства					
Параметры оценки экологического состояния по доле техногенных частиц-индикаторов					
%	≤10	10–15	15-25	25-35	>35
Уровень загрязнения	Фоновый	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
Зона воздействия предприятия	–	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>•НГДМ (г.Стрежевой)</li> <li>•промзона и ТЭЦ (г.Юрга)</li> <li>•промзона (г.Усть-Каменогорск)</li> <li>•металлург. комбинат (г.Новокузнецк)</li> <li>•заводы ЖБК (г.Томск)</li> <li>•НХК (г.Томск)</li> <li>•ГРЭС (г.Мыски)</li> <li>•ТЭЦ (г.Северск)</li> <li>•ТЭЦ (г. Караганда)</li> <li>•ГРЭС (г.Томск)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•кирпичные заводы (г.Томск)</li> <li>•ГРЭС (г.Кемерово)</li> <li>•промузел и ТЭЦ (г.Омск)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•цементный завод (Топки, Искитим)</li> <li>•угольный разрез (г.Киселевск)</li> <li>•угольный разрез и шахта (Междуреченск)</li> </ul>

Использование параметра отношения минерал-индикатор/кварц в нерастворимом осадке снегового покрова позволило выполнить типизацию территорий по уровню загрязнения минералами-индикаторами (таблица 7.2.16; рисунок 7.2.5). В результате определено, что низкий уровень загрязнения характерен в зоне воздействия Сорского ГОКа и промзоны с предприятиями машиностроения и металлообработки в Омске, средний уровень – в зоне воздействия пяти объектов теплоэнергетики (Томск, Юрга, Мыски, Северск, Кемерово), металлургических производств (Новокузнецк, Красноярск), нефтеперерабатывающего завода (Омск), высокий уровень – промзоны Юрги и ТЭЦ г. Караганда, очень высокий – предприятий стройиндустрии (заводы ЖБК, цементное производство).

Типизация по косвенному признаку «Сопутствующие минералы» отражает наличие в нерастворимом осадке снегового покрова минералов, поступающие в снеговой покров в результате терригенных процессов и антигололёдных мероприятий в городах (таблица 7.2.11). Дополнительно, сопутствующие минералы характеризуют состав различных добавок, используемых на производстве, а также вмещающие горные породы, которые оторваны от своего естественного положения при горнодобывающем техногенезе.

Типизация территории по косвенному признаку «Соотношение кристаллических (минеральных) и аморфных фаз» позволила дифференцировать зоны воздействия предприятий различной промышленной специализацией в зависимости от уровня загрязнения аморфной

составляющей в нерастворимом осадке снегового покрова, которая характеризует неминеральные техногенные образования (таблица 7.2.17).

Таблица 7.2.15. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по косвенному признаку «Соотношение группы природных и группы техногенных образований (частиц)»

<b>Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение</b>					
<b>Критерий - II.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова</b>					
<b>Косвенный признак - II.3.1.КП1. Соотношение группы природных и группы техногенных образований (частиц)</b>					
<b>Параметры оценки экологического состояния по доле техногенных частиц-индикаторов</b>					
<b>%</b>	<b>≤24</b>	<b>25–35</b>	<b>35-60</b>	<b>60-85</b>	<b>&gt;85</b>
<b>Уровень загрязнения</b>	<b>Фоновый</b>	<b>Низкий</b>	<b>Средний</b>	<b>Высокий</b>	<b>Очень высокий</b>
Города	–	–	Томск, Сорск, Колпашево, Стрежевой	Омск, Кемерово, Междуреченск, Юрга, Асино	–
Зона воздействия предприятия	–	•ГОК (г.Сорск)	•НПЗ (г.Омск) •НГДМ (г.Стрежевой) •НПЗ (Ачинск) •промзона (г.Усть-Каменогорск) •кирпичные заводы (г.Томск)	•промузел (г.Омск) •алюминиевый завод (г.Красноярск) •угольный разрез (г.Киселевск) •НПЗ (г.Павлодар) •ЯТЦ (г. Северск) •ТЭЦ (Северск, Караганда) •ГРЭС (Томск, Кемерово, Мыски) •заводы ЖБК (г.Томск) •НХК (г.Томск) •промзона (г.Юрга)	•ТЭЦ (г.Омск) •угольный разрез и шахта (Междуреченск) •цементный завод (гг.Топки, Искитим) •металлург. комбинат (Новокузнецк)

Территории с низким и средним уровнем загрязнения аморфными фазами включают зоны воздействия предприятий стройиндустрии (Томск, Искитим, Топки), алюминиевого производства (Красноярск), по добычи и обогащению цветных металлов (Сорский ГОК), цементного производства, с высоким и очень высоким уровнем – зоны воздействия объектов теплоэнергетики, угледобывающих предприятий (Междуреченск, Киселевск) и нефтеперерабатывающих производств (Омск, Ачинск, Павлодар).

Таблица 7.2.16. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Техногенные минералы-индикаторы, характеризующие воздействие производства»

Тип воздействия - II.Аэрозольное загрязнение				
Критерий - II.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова				
Прямой признак - II.3.1.ПП2 Техногенные минералы-индикаторы, характеризующие воздействие производства				
Параметры оценки экологического состояния по отношению минерал-индикатор/кварц				
Ед.	≤0,1	0,1-1,0	1,0-2,5	>2,5
Уровень загрязнения	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
Зона воздействия предприятия	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ГОК (г.Сорск)</li> <li>•промузел (г.Омск)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•металлург. комбинат (г.Новокузнецк)</li> <li>•алюминиевый завод (г.Красноярск)</li> <li>•НПЗ (г.Омск)</li> <li>•ГРЭС (г.Томск)</li> <li>•ТЭЦ (г.Юрга)</li> <li>•ГРЭС (г.Мыски)</li> <li>•ТЭЦ (г.Северск)</li> <li>•ГРЭС (г.Кемерово)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•промзона (г.Юрга)</li> <li>•ТЭЦ (г.Караганда)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•заводы ЖБК (г.Томск)</li> <li>•цементный завод (гг.Топки, Искитим)</li> <li>•ТЭЦ (г.Омск)</li> </ul>

Выполнена типизация урбанизированных территорий юга Сибири по прямому признаку «Техногенные металлосодержащие микрочастицы-индикаторы, характеризующие воздействие производства», что позволило выявить частицы-носители элементов-индикаторов (в форме сульфидов, сульфатов, оксидов, интерметаллидов, фосфатов) в нерастворимом осадке снегового покрова (таблица 7.2.12). По наличию индикаторных металлосодержащих частиц в нерастворимом осадке снеговом покрове отчетливо выделяется специфика атмотехногенного воздействия различных промышленных предприятий. При этом индикаторные микрочастицы характеризуются высокой частотой встречаемости, что можно рассматривать как высокий уровень загрязнения этими микрочастицами. Так, фосфаты и оксиды редкоземельных элементы отражают воздействие нефтеперерабатывающего завода в Омске, сульфиды молибдена и меди – Сорского ГОКа, интерметаллиды – предприятий машиностроения и металлообработки (Омск, Юрга), металлургическим комплексов (Новокузнецк, Усть-Каменогорск), фосфаты цериевые и иттриевые, сульфаты бария, оксиды урана – объектов теплоэнергетики.

Типизация зон воздействия по косвенному признаку «Сопутствующие металлосодержащие микрочастицы, характеризующие воздействие производства» характеризует наличие микрочастиц-носителей сопутствующих химических элементов (таблица 7.2.13), которые выделены с помощью косвенного признака II.2.1.КП1 (таблица 7.2.8). В зависимости от частоты встречаемости различных видов микрочастиц можно говорить о низком или высоком уровне загрязнения каждым из видов микрочастиц.



Таблица 7.2.17. – Типизация урбанизированных территорий юга Сибири по косвенному признаку «Соотношение кристаллических (минеральных) и аморфных фаз»

Тип воздействия - П.Аэрозольное загрязнение					
Критерий - П.3.1 Минерально-вещественные характеристики состава нерастворимого осадка снегового покрова					
Косвенный признак – П.3.1.КП2-2. Соотношение кристаллических и аморфных фаз					
Параметры оценки экологического состояния по доле аморфной фазы					
%	≤7	8–14	14-28	28-42	>42
Уровень загрязнения	Фоновый	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
Зона воздействия предприятия	–	•цементный завод (гг.Топки, Искитим)	•алюминиевый завод (г.Красноярск) •заводы ЖБК (г.Томск) •кирпичные заводы (г.Томск) •ТЭЦ (г.Караганда) •НПЗ (г.Павлодар) •НПЗ (Ачинск) •ГОК (г.Сорск)	•НПЗ, ТЭЦ и промузел (г.Омск) •ГРЭС (г.Томск) •ГРЭС (г.Мыски)	•ГРЭС (г.Кемерово) •НХК (г.Томск) •ТЭЦ (г.Северск) •угольный разрез, шахта (Киселевск, Междуреченск) •промзона и ТЭЦ (г.Юрга) •металлург. комбинат (Новокузнецк)

Таким образом, обобщение собственного обширного фактического материала по закономерностям формирования состава нерастворимого осадка снегового покрова на урбанизированных территориях юга Сибири с разными условиями техногенеза позволило разработать подходы к типизации территорий в регионе по атмотехногенному воздействию на среду обитания для определения экологического состояния.

Используя разработанную структуру типизации, выполнена типизация 34 урбанизированных территорий, включая 17 городов и 34 зоны воздействия предприятий юга Сибири, с использованием собственных фактических данных и опубликованных литературных материалов. Выполненная типизация территорий позволила выделить группы городов по промышленно-урбанизированному освоению, а также охарактеризовать типы городов и зоны воздействия предприятий с низким, средним, высоким и очень высоким уровнем загрязнения по пылевой нагрузке и минералого-геохимическим признакам аэрозольного загрязнения в зависимости от условий техногенеза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований нерастворимого осадка снегового покрова, который формируется аэрозольными частицами, осевшими в снеговой покров, на урбанизированных территориях юга Сибири с различными условиями техногенеза можно сделать следующие выводы:

1. Уровень пылевой нагрузки на территорию городов изменяется от 8,7 до 199, а в зонах воздействия промышленных предприятий – от 36,2 до 1054, при региональном фоне  $<20$  мг/(м<sup>2</sup>·сут.), что обусловлено спецификой функционирующих отраслей производства.

В соответствии с общепринятыми градациями по пылевой нагрузке (Геохимия..., 1990; Касимов и др., 2012) на многих урбанизированных территориях установлены низкий уровень загрязнения ( $<250$  мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) и неопасная экологическая ситуация ( $<200$  мг/(м<sup>2</sup>·сут.)).

По предложенной градации пылевой нагрузки относительно фона ( $<20$  мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) определено, что формируются преимущественно средний (60–240 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) и высокий (240–600 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) уровни загрязнения под воздействием предприятий различной промышленной специализации (теплоэнергетические, нефтеперерабатывающие, металлургические, машиностроительные и металлообрабатывающие, нефтегазовые, горнопромышленные, стройиндустрии).

Уровни накопления широкого спектра химических элементов (до 60 элементов; от Li до U), включая малоизученные в геохимическом плане редкоземельные элементы, в нерастворимом осадке снегового покрова многократно (порой в сотни раз) превышают фоновые показатели. Для изучаемых промышленно-урбанизированных территорий выявлена своя техногенная геохимическая специализация нерастворимого осадка снегового покрова, которая обусловлена спецификой геохимического воздействия функционирующих предприятий и объектов теплоэнергетики. Это доказано детальными исследованиями в зонах воздействия промышленных предприятий, по результатам которых в нерастворимом осадке снегового покрова определены геохимические индикаторы воздействия предприятий с различной промышленной специализацией. Индикаторы выделены по эколого-геохимическим и статистическим показателям, и представлены спектром элементов-индикаторов, формами их нахождения, геохимическими ассоциациями и уровнями отношения элементов ((La+Ce)/(Yb+Lu), Th/U). Формы нахождения радионуклидов в виде микровключений характерны для нерастворимого осадка снегового покрова в зоне воздействия предприятий ядерно-топливного цикла, а молекулярно-рассеянная форма – в районах расположения объектов угледобычи и теплоэнергетики.

На урбанизированных территориях в основном формируются средний и высокий уровни техногенного полиэлементного загрязнения с опасной и очень опасной экологической ситуацией по установленным величинам  $Z_c$  и  $Z_p$  в сравнении с общепринятыми градациями.

Сформированный при промышленном техногенезе минерально-вещественный состав нерастворимого осадка снегового покрова характеризуется преобладанием техногенных (39–90%) образований над природными (10–61%) образованиями, при фоне 76 и 24% соответственно.

Природные минеральные образования (кварц, полевые шпаты, карбонаты, слюды, глины) отражают состав материала терригенного происхождения, поступающего в снеговой покров в результате ветровой эрозии непокрытых снегом берегов рек и проведения антигололёдных мероприятий с использованием песко-соляной смеси в городе. В отдельных случаях природные образования представлены минералами вмещающих горных пород, содержащиеся в пылевых выбросах, которые формируются при разработке месторождений полезных ископаемых. В то же время, не исключается дальний перенос минеральной пыли из удаленных районов, где поверхность не покрыта снегом, например, из пустынь и засушливых районов Республики Казахстан, Монголии и Средней Азии.

Техногенные образования в нерастворимом осадке снегового покрова представлены микроминеральными фазами (до 25%), металлосодержащими микрочастицами (до 5%) и прочими компонентами промышленной пыли (до 70%), отражающие специфику воздействия предприятий в зависимости от их производственной специализации. Выделены индикаторные техногенные образования в нерастворимом осадке снегового покрова в зонах воздействия (до 1 км) разнопрофильных предприятий (теплоэнергетические, нефтеперерабатывающие, металлургические, машиностроительные и металлообрабатывающие, нефтегазовые, горнопромышленные, стройиндустрии).

Техногенные микроминеральные фазы-индикаторы включают алюмосиликаты (муллит, хлорит, цеолит, мусковит, полевые шпаты), карбонаты (кальцит, доломит, магнезит), фториды (криолит), ферриты (браунмиллерит), силикаты (хатрурит, лизардит), оксиды железа и оксиды алюминия (корунд), сульфиды (молибденит). Предложен показатель для определения источников техногенного происхождения аэрозолей как отношение минерал-индикатор/кварц в нерастворимом осадке снегового покрова.

Техногенные индикаторные микрочастицы металлов и металлоидов (металлосодержащие) представляют собой твердофазные формы проявления химических элементов в виде сульфидов, сульфатов, оксидов, интерметаллидов и фосфатов редкоземельных элементов, микросферул различного состава с высокой частотой встречаемости в нерастворимом осадке снегового покрова (>1%).

Прочие техногенные частицы в нерастворимом осадке снегового покрова отражают компоненты строительной (кирпичная, цементная, стекловолокно, опилки) и металлургической пыли (шлак, микросферулы), продукты эмиссий от сжигания топлива (зола и шлак, угольные и сажеподобные частицы, микросферулы), угольной пыли и микропластика.

2. Особое положение в характеристике аэрозольной нагрузки на урбанизированные территории юга Западной Сибири занимают предприятия теплоэнергетики (ТЭС), поскольку происходит интенсификация их работы в зимний период. В результате исследований определена специфика воздействия ТЭС среди других источников загрязнения на урбанизированных территориях по данным изучения снегового покрова.

В зонах воздействия ТЭС установлены в основном средний уровень пылевой нагрузки относительно фона (60–240 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)). По мере удаления (от 0,5 до 2,5 км) от организованных источников выбросов высотой 100–150 м выявлено, что уровень пылевой нагрузки составляет 79–790 мг/(м<sup>2</sup>·сут.) на расстоянии до 1,3 км, который в 2 раза выше уровня пылевой нагрузки (43–268 мг/(м<sup>2</sup>·сут.)) в дальней зоне воздействия (1,3–2,5 км).

Геохимическая специфика состава нерастворимого осадка снегового покрова определяется высокими уровнями накопления (2–45 фонов), геохимическими ассоциациями редких элементов (лантаноиды, Y, Sc, U, Th, Nb, Hf, Ta, Ge, Ga, Zr) и Hg. Характерными формами проявления редкоземельных элементов являются микрочастицы близкие по составу к цериевым и иттриевым фосфатам, для которых отмечается высокая частота встречаемости в нерастворимом осадке снегового покрова. Специфика минерально-вещественного состава заключается в наличии микросферул алюмосиликатного, алюмосиликатно-железистого, железистого и редкоземельного составов (лантан-цериевого, иттриевого). Использование отношения муллит/кварц (0,9–3,1, при фоне 0,01 ед.) также позволяет идентифицировать предприятия теплоэнергетики среди других источников в городах.

3. В период многолетних наблюдений (2007–2015 гг.) в многопрофильном промышленном городе Томске выявлено, что особенности формирования состава нерастворимого осадка снегового покрова обусловлены пространственно-временной динамикой геохимических ореолов и ореолов пылевой нагрузки. Определяющими факторами при этом являются изменения в промышленной и транспортной инфраструктуре города, а также модернизация производств и эффективность природоохранных мероприятий на крупных предприятиях города (нефтехимического производства, стройиндустрии) и объектах теплоэнергетики.

На примере Томской ГРЭС-2, в период многолетнего мониторинга загрязнения снегового покрова (2009–2018 гг.) в зоне преобладающего массопереноса выбросов, установлена временная изменчивость пылевой нагрузки и геохимических особенностей состава нерастворимого осадка снегового покрова. По данным мониторинга на снижение уровня пылевой нагрузки с 2012 г. по

2018 г. существенное воздействие оказали мероприятия по модернизации золоулавливающих установок. Установлено влияние изменений топливного баланса ГРЭС-2 на динамику накопления химических элементов в нерастворимом осадке снегового покрова. Определена тенденция статистически значимого увеличения содержания Hg и Вг в нерастворимом осадке снегового покрова в периоды использования на ГРЭС-2 природного газа более 50% (2009–2013 гг.). Высокие уровни концентрации As, Zn, Ba, Sr, U, Th, Hf, Ta, лантаноидов (La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu) относительно фона в нерастворимом осадке снегового покрова сохранялись в периоды использования угля более 35% (2009–2015 гг.).

4. На территории Томской области, по результатам эколого-геохимического районирования в региональном масштабе, в нерастворимом осадке снегового покрова установлены средние концентрации макро- и микроэлементов на уровне 2–14 фонов, а выпадений этих элементов на снеговой покров – 3–47 фонов. Сильноконтрастные техногенные геохимические ореолы лантаноидов, урана и тория, отдельных тяжелых металлов приходится на южные и юго-восточные районы области, характеризующиеся также повышенной пылевой нагрузкой за счёт воздействия промышленного техногенеза Томск–Северской городской агломерации и местных котельных, использующих преимущественно уголь. Техногенные геохимические ореолы брома и ртути проявляются на территории юг-юго-восточных и центральных районов области, связанные с воздействием местных котельных, преимущественно, работающих на природном газе. Северные районы, где функционируют нефтегазодобывающие предприятия, отличаются высокими уровнями накопления натрия в нерастворимом осадке снегового покрова на территории населённых пунктов.

5. Обширный фактический материал по изучению состава нерастворимого осадка снегового покрова, полученный при личном участии автора, в сочетании с методами геохимии окружающей среды, экологической минералогии и геоурбанистики, позволил разработать подходы к типизации урбанизированных территорий юга Сибири по атмотехногенному воздействию на среду обитания для оценки экологического состояния.

Основой типизации являются разработанные и научно-обоснованные критерии и признаки оценки промышленно-урбанизированного освоения территории и аэрозольного загрязнения. Оригинальность типизации заключается в разработанных прямых и косвенных минералого-геохимических признаках аэрозольного загрязнения, которые выделены по фактическим результатам изучения уровня пылевой нагрузки, геохимических и минерально-вещественных характеристик состава нерастворимого осадка снегового покрова.

В рамках типизации предложены параметры оценки экологического состояния территорий по общепринятым градациям оценки уровня загрязнения по пылевой нагрузке и полиэлементному составу нерастворимого осадка снегового покрова. Кроме того, разработаны

параметры оценки уровня загрязнения радионуклидами по формам их нахождения и техногенными образованиями в нерастворимом осадке снегового покрова на основе полученных фактических данных.

Используя разработанные подходы к типизации, выполнена типизация 34 урбанизированных территорий юга Сибири, включая 17 городов и 34 зоны воздействия предприятий, с использованием собственного фактического материала и литературных данных. В результате определены группы городов по промышленно-функциональному назначению, концентрации предприятий и численности городского населения. Выделены и охарактеризованы урбанизированные территории в регионе с низким, средним, высоким и очень высоким уровнем загрязнения по пылевой нагрузке и минералого-геохимическим признакам аэрозольного загрязнения в зависимости от условий техногенеза.

Таким образом, в работе решена актуальная научная проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение, заключающаяся в теоретическом обосновании оценки влияния атмосферных аэрозолей на качество атмосферного воздуха на урбанизированных территориях юга Сибири с разными условиями техногенеза для изучения качества жизни населения и экологического состояния городов с использованием методов геохимии окружающей среды и экологической минералогии.

Выполненные исследования атмосферных аэрозолей выступают в роли инструмента при принятии технологических решений для обеспечения экологически безопасного проживания населения, включающие природоохранные рекомендации, стратегии развития городов и регионов, прогнозирование техногенного воздействия на окружающую среду и совершенствование методов экологического мониторинга. Результаты исследований также могут быть использованы для решения задач численного моделирования процессов переноса аэрозолей в атмосферном воздухе на локальном и региональном уровнях, для изучения механизмов образования антропогенных аэрозолей и для оценки риска здоровью населения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адам, А. М. Природные ресурсы и экологическая безопасность Западной Сибири / А. М. Адам, Р. Г. Мамин. – М.: НИА-Природа, 2001. – 172 с.
2. Адам, А. М. Теория и методы обеспечения экологической безопасности технологических объектов и территорий в целях устойчивого природопользования на примере Западной: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 25.00.36 / Адам Александр Мартынович. – М., 2003. – 38 с.
3. 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 студентов аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Т. 1. – С. 684–686.
4. Ажаев, Г. С. Оценка экологического состояния г. Павлодара по данным геохимического изучения жидких и пылевых атмосферных выпадений: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Ажаев Галымбек Советович. – Томск, 2007. – 21с.
5. Азарова, С. В. Отходы горно-добывающих предприятий и комплексная оценка их опасности для окружающей среды (на примере объектов Республики Хакасия): дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Азарова Светлана Валерьевна. – Томск, 2005. – 235 с.
6. Айдинов, Г. Т. Многомерный анализ структуры и долевого вклада потенциальных факторов риска при злокачественных новообразованиях трахеи, бронхов и легкого / Г. Т. Айдинов, Б. И. Марченко, Ю. А. Синельникова // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 1. – С. 45–55.
7. Алексеенко, В. А. Введение в экологическую геохимию / В. А. Алексеенко. – Краснодар: КГТУ, 1994. – 184 с.
8. Алексеенко, В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – Ростов н/Д: Изд-во Южного Федерального университета, 2013. – 388 с.
9. Алексеенко, В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
10. Анапольская, Л. Н. Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного Экономических районов / Л. Н. Анапольская, И. Д. Копзнева. – Л.: Гидрометеиздат, 1979 – 390 с.
11. Андреева, О. С. Редкоземельные элементы. Радиационно-гигиенические аспекты / О. С. Андреева, В. И. Киселев, В. И. Малинина. – М.: Недра, 1990. – 312 с.
12. Андрухова, Т. В. Мониторинг элементного состава аэрозольных загрязнений снегового покрова г. Барнаула за период 2002-2011 гг. / Т. В. Андрухова, В. И. Букатый, И. А. Суторихин // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4-2. – С. 86–89.

13. Аношин, Г. Н. Аналитическая геохимия благородных металлов и ртути: автореф. дис. ... д-ра. геол.-минерал. наук: 04.00.02 / Григорий Николаевич Аношин. – Новосибирск, 2000. – 56 с.
14. Арбузов, С. И. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С. И. Арбузов, В. В. Ершов. – Томск: Изд. Дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
15. Арбузов, С. И. Металлоносность углей Сибири / С. И. Арбузов // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 77–83.
16. Арбузов, С. И. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие / С. И. Арбузов, Л. П. Рихванов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 320 с.
17. Арбузов, С.И. Геохимия редких элементов в углях Центральной Сибири: дис. ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.09. – Томск, 2005. – 499 с.
18. 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.
19. Артамонова, С. Ю. Геохимические особенности аэрозольного загрязнения в районе Сибирского химического комбината / С. Ю. Артамонова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т. 20. – С. 405–418.
20. Артамонова, С. Ю. Минерально-геохимические индикаторы техногенных источников аэрозольного загрязнения / С. Ю. Артамонова, А. С. Лапухов, Л. В. Мирошниченко, Л. И. Разворотнева // Химия в интересах устойчивого развития. – 2007. – Т. 15. – № 6. – С. 643–652.
21. Артамонова, С. Ю. Оксиды урана в техногенных аэрозолях г. Новосибирска / С. Ю. Артамонова // Вестник ОНЗ РАН. – 2012. – Т. 4. – С. 25–28.
22. Артамонова, С. Ю. Техногенные аэрозоли в зоне влияния Новосибирского завода химкоцентраторов / С. Ю. Артамонова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т.4. – №2. – С. 143–148.
23. Артамонова, С. Ю. Уран и торий в аэрозольных выпадениях г. Новосибирска и его окрестностей (Западная Сибирь) / С. Ю. Артамонова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331 – № 7. – С. 212–223.
24. Артамонова, С. Ю. Химический и фазовый состав техногенных аэрозолей в районе Сибирского химического комбината (Томская обл.) / С. Ю. Артамонова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 6. – С. 229–240.
25. Артамонова, С. Ю. Элементный состав твердых осадков снежного покрова в районе Новосибирского оловокомбината (2005-2016 гг.) / С. Ю. Артамонова, Н. А. Попов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т.4. – № 2. – С. 141–145.
26. Архангельская, Т. А. Ретроспективная оценка радиозоологической ситуации по результатам изучения годовых колец деревьев: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Архангельская Татьяна Александровна. – Томск, 2004. – 24 с.



27. Архангельский, В. В. Уран, торий и редкоземельные элементы как индикаторы антропогенного воздействия на почвы юга Томской области / В. В. Архангельский, Л. П. Рихванов // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства. Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: Материалы Международной научно-практической конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2001. – С. 124–127.
28. Архипов, А. М. Функциональная типология городов Центральной России / А. М. Архипов // Вестник Московской академии предпринимательства при Правительстве Москвы. – 2010. – № 2. – С. 47–51.
29. Аэрозоли в природных планшетах Сибири / А. П. Бояркина, В. В. Байковский, Н. В. Васильев и др. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 1993. – 157 с.
30. Аэрозоли Сибири / И. С. Андреева и др.; отв. ред. К. П. Куценогий. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 548 с.
31. 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.
32. Барановская, Н. В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08 / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, 2011. – 373 с.
33. Барановская, Н. В. Региональная специфика элементного состава волос детей, проживающих на территории Томской области / Н. В. Барановская, Д. В. Наркович, А. Ф. Судыко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2011. – Т. 319 – № 1. – С. 212–220.
34. Барановская, Н. В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области / Н. В. Барановская, Е. В. Агеева, Б. Р. Соктоев, Д. В. Наркович, О. А. Денисова, Т. В. Матковская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 2. – С. 17–28.
35. Барановская, Н. В. Элементный состав биологических материалов и его использование для выявления антропогенно-измененных территорий: на примере южной части Томской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, 2003. – 22 с.
36. Безуглая, Э. Ю. Воздух городов и его изменения / Э. Ю. Безуглая, И. В. Смирнова. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.

37. Белан, Б. Д. Комплексный мониторинг воздушного бассейна регионов с помощью мобильных средств и его результаты / Б. Д. Белан, В. И. Вавер, Г. И. Дорошкевич, Э. Ф. Жбанов и др. // Проблемы региональной экологии. – 1994. – № 3. – С. 61–68.
38. Белан, Б. Д. Многолетний ход химического состава атмосферного аэрозоля в тропосфере юга Западной Сибири / Б. Д. Белан, Г. А. Ивлев, Т. М. Рассказчикова, Д. В. Симоненков, Г. Н. Толмачев, А. С. Козлов, Л. В. Куйбида, Н. Г. Воронежская, Г. С. Певнева // Земля и космос: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием к 100-летию академика РАН К. Я. Кондратьева. – СПб.: ООО «Мономакс», 2020. – С. 182–190.
39. Белан, Б. Д. Оценка влияния метеорологических и орографических условий на аэрозольное загрязнение снежного покрова на юге Томского региона / Б. Д. Белан, В. С. Бучельников, В. Ф. Лысова, Д. В. Симоненков, А. В. Таловская, М. П. Тентюков, Е. Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31. – № 6. – С. 492–500.
40. Белан, Б. Д. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири / Б. Д. Белан, Г. А. Ивлев, А. С. Козлов, И. И. Маринайте, В. В. Пененко, Е. В. Покровский, Д. В. Симоненков, А. В. Фофонов, Т. В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – № 5 (20). – С. 428–437.
41. Белан, Б. Д. Структура аэрозольных «шапок» над промышленными центрами / Б. Д. Белан, В. К. Ковалевский, Д. В. Симоненков, Г. Н. Толмачев, Т. М. Рассказчикова // Оптика атмосферы и океана. – 1996. – Т. 9. – № 6. – С. 755–765.
42. Белан, Л. Н. Геоэкологические основы природно-техногенных экосистем горнорудных районов Башкортостана: автореф. дис. ... д-ра. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Белан Лариса Николаевна. – Москва, 2007. – 50 с.
43. Белая, Е. В. Ртуть в углях Кузбасса // Творчество юных - шаг в успешное будущее: Материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М. К. Коровина, 2015. – Томск: Изд-во ТПУ. – С. 354–356.
44. Белозерова, О. Ю. Рентгеноспектральный электронно-зондовый микроанализ твердых осадков снегового покрова как индикатор загрязнения окружающей среды / О. Ю. Белозерова, Г. П. Королева, Л. А. Павлова // Аналитика и контроль. – 2002. – Т. 6. – № 4. – С. 15–21.
45. Белошейкина, А. В. Эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова территории Сорского горного-обогатительного комбината (Республика Хакасия) / А. В. Белошейкина, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 1. – С. 44–53.
46. 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, Т. И. Моршина, А. И. Шилина // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 12. – С. 54–63.

47. Бернатонис, В. К. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота / В. К. Бернатонис, В. С. Архипов, М. А. Здвижков и др. // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития: Сборник статей. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 204–215.
48. Битюкова, В. Р. Пространственная структура ареалов загрязнения от ТЭЦ города Москвы / В. Р. Битюкова // Экология и промышленность России. – 2021. – Т.25. – № 6. – С. 54–60.
49. Битюкова, В. Р. Экологический портрет российских городов / В. Р. Битюкова, Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Экология и промышленность России. – 2011. – № 4. – С. 6–18.
50. Болсуновский, А. Я. Горячие частицы в Красноярском крае / А. Я. Болсуновский, Т. А. Горяченкова, В. О. Черкезян, Б. Ф. Мясоедов // Радиохимия. – 1998. – Т. 40. – № 3. – С. 271–274.
51. Большунова, Т. С. Оценка степени трансформации природной среды в районах нефтегазодобывающего комплекса Томской области по данным изучения снегового покрова и лишайников-эпифитов: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Большунова Татьяна Сергеевна. – Томск, 2015. – 182 с.
52. Бондаревич, Е. А. Оценка техногенного загрязнения городской среды Читы по состоянию снежного покрова / Е. А. Бондаревич // Лёд и Снег. – 2019. – Т. 59 – № 3. – С. 389–400.
53. Бондаревич, Е. А. Мониторинг загрязнения снежного покрова г. Читы тяжелыми металлами / Е. А. Бондаревич, Н. Н. Коцюржинская, О. А. Жилиева, Г. Ю. Самойленко, К. И. Климович, С. А. Игумнов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 132–144.
54. Бортникова, С. Б. Методы анализа данных загрязнения снежного покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирск) / С. Б. Бортникова, В. Ф. Рапута, А. Ю. Девятова, Ф. Н. Юдахин // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2009. – № 6. – С. 515–525.
55. Брагина, П. С. Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области / П. С. Брагина // Кемерово: Вестник Кузбасской государственной педагогической академии. – 2013. – №. 4. – С. 57-64.
56. Бримблкумб, П. Состав и химия атмосферы / П. Бримблкумб; [пер. с англ. А. Г. Рябошапка]. – М.: Мир, 1988. – 351 с.
57. 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.

58. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 181 с.
59. Величковский, Б. Т. Патогенетическое значение пиковых подъемов среднесуточных концентраций взвешенных частиц в атмосферном воздухе населенных мест / Б. Т. Величковский // Гигиена и санитария. – 2002. – № 6. – С. 14–16.
60. Ветров, В. А. Государственная сеть наблюдений за химическим составом снежного покрова в РФ: итоги и проблемы / В. А. Ветров, В. В. Кузовкин, Д. А. Манзон // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: климат и экология северных территорий и Байкальского региона: Материалы Первой Междунар. научно-практ. конференции. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. – С. 93–97.
61. Виленский, В. Д. Химический состав снежного покрова Восточной Антарктиды / В. Д. Виленский, А. З. Миклишанский // Геохимия. – 1976. – № 11. – С. 1683–1690.
62. Вильденберг, Е. В. Газобиохимическая съемка по снежному покрову и приземному воздуху на Илекском валу / Е. В. Вильденберг, С. В. Барышев // Нефтяная промышленность. Сер. неф. геогр. и бур. – 1984. – № 10. – С. 11–13.
63. Виноградов, А. П. Введение в геохимию океана / А. П. Виноградов. – М.: Наука, 1967. – 215 с.
64. Виноградов, А. П. Изменение атмосферы под влиянием человеческой деятельности / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1972. – № 1. – С. 3–10.
65. Виноградова, А. А. Микроэлементы в составе арктического аэрозоля (обзор) / А. А. Виноградова // Известия АН. ФАО. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 437–456.
66. Виноградова, А. А. Тренды 15-летних изменений в процессах переноса воздушных масс и антропогенных аэрозольных примесей в районе м. Лаптевых / А. А. Виноградова, В. П. Шевченко, Т. Я. Пономарева, А. А. Клювиткин // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 16. – № 05-06. – С. 426-431.
67. Виноградова, А. А. Черный углерод в атмосфере и альbedo подстилающей поверхности в российской Арктике весной / А. А. Виноградова, Т. Б. Титкова // Оптика атмосферы и океана. – 2020. – Т. 33. – № 1. – С. 61-67.
68. Виноградова, А. А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: дис. д-ра географ. наук: 25.00.28. / Виноградова Анна Александровна. – М., 2004. – 218 с.
69. Власов, Д. В. Геохимия тяжелых металлов и металлоидов в ландшафтах Восточного округа Москвы: дис. ... канд. географ. наук: 25.00.23 // Власов Дмитрий Валентинович. – М., 2015. – 160 с.

70. Власов, Д. В. Картографирование ландшафтно-геохимической структуры урбанизированной территории (на примере Москвы) / Д. В. Власов, Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева // Интеркарто. Интергис. – 2017. – Т. 23. – № 1. – С. 242–255.
71. Волкотруб, Л. П. Эпидемиология злокачественных новообразований в г. Томске / Л. П. Волкотруб, Т. В. Чемерис // Сибирский медицинский журнал. – 2002. – № 1. – С. 65–68.
72. Володеев, А. С. Воздействие энергетики Кузбасса на окружающую среду (на примере Томь-Усинской ГРЭС) / А. С. Володеев // Экология урбанизированных территорий. – 2006. – № 3. – С. 19–27.
73. Волостнов, А. В. Ртуть в углях Сибири / А. В. Волостнов, С. И. Арбузов, Н.А. Осипова, С. С. Ильенко, Н. В. Купреева // Ртуть в биосфере. Эколого-геохимические аспекты: Материалы Международного симпозиума. – М.: ГЕО-ХИ РАН, 2010. – С. 99–104.
74. Волостнов, А. В. Токсичные элементы в углях Сибири / А. В. Волостнов, С. И. Арбузов // Энергетик. – 2011. – №. 3. – С. 39–44.
75. Волостнов, А. В. Уран и торий в углях Центральной Сибири: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.09 / Волостнов Александр Валерьевич. – Томск, 2004. – 227 с.
76. Воробьева, А. И. Атмосферные загрязнения Томска и их влияние на здоровье населения / А. И. Воробьева, М. А. Медведев, Л. П. Волкотруб, Н. В. Васильев. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 1992. – 192 с.
77. 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.
78. Воронцова, А. В. Особенности поведения поллютантов в снеговом покрове Санкт-Петербурга и их влияние на городскую среду: автореф. дис... канд. геогр. наук.: 25.00.36 / Воронцова Анна Владиславовна. – СПб., 2013. – 23 с.
79. Гарманова, Т. В. Мониторинг загрязнения снежного покрова пылеаэрозолями в городе Тюмень / Т. В. Гарманова, Н. С. Ларина // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2012. – № 7. – С. 55–62.
80. Генеральный план города Юрги Кемеровской области / ООО «Институт территориального развития «Сибгипрогор». – Омск, 2011. – 103 с.
81. География Томской области / Под ред. А. А. Земцова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1988. – 246 с.
82. География. 9 кл.: атлас. – 2-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2011 – 56 с.
83. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Новосибирская, Омская, Томская области / Под ред. Н. А. Рослякова, В. Г. Свиридова. – Новосибирск, 1999. – Т. 2. – 254 с.

84. Геология и полезные ископаемые России: Западная Сибирь / под общ. ред. В. П. Орлова, А. Э. Конторовича, В. С. Суркова. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – Т. 2. – 477 с.
85. Геолого-экологическая карта города Новокузнецка и пригородной зоны: отчет по геолого-экологическим исследованиям города Новокузнецка и пригородной зоны, проведенным в 1993–96 гг. / ТОО «Кузбассэкогеоцентр»; исполн. В. Л. Некипелый, Н. И. Немтина, С. А. Некипелая. – Новокузнецк: 1998. – Т.2.
86. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Изд-во «Недра», 1990. – 335 с.
87. Геохимия почв и здоровье детей Томска / Л. П. Рихванов, С. Г. Нарзулаев, Е. Г. Языков и др. – Томск. Изд-во ТГУ, 1993. – 141 с.
88. Гинзбург, А. С. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат / А. С. Гинзбург, Д. П. Губанова, В. М. Минашкин // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII. – № 5. – С. 112–119.
89. Гичев, Ю. П. Загрязнение окружающей среды и здоровье человека (Печальный опыт России) / Ю. П. Гичев; [под ред. А. В. Яблокова]. – М., 2002. – 229 с.
90. Гладышев, В. П. Хемодинамика и мониторинг ртути в окружающей среде / В. П. Гладышев, Н. П. Солдаткина // Контроль и реабилитация окружающей среды: Материалы симпозиума. – Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 2000. – С. 34–38.
91. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М. А. Глазовская. – М.: Географический ф-т МГУ, 2007. – 350 с.
92. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
93. Глазовская, М. А. Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фонового мониторинга / М. А. Глазовская, Н. С. Касимов, А. И. Перельман // Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. – М.: Наука, 1989. – С. 8–25.
94. Глазовский, Н. Ф. Избранные труды в двух томах. Том 1. Геохимические потоки в биосфере / Н. Ф. Глазовский, М. А. Глазовская, А. В. Дроздов, И. В. Иванов, П. П. Кречетов, В. П. Учватов; [под ред. В. М. Котлякова]. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – Т.1. – 535 с.
95. Глазовский, Н. Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере / Н. Ф. Глазовский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 7–28.
96. Глазовский, Н. Ф. Химический состав пыли некоторых районов ЕТС. Пущино / Н. Ф. Глазовский, В. П. Учватов. – М.: Наука, 1981. – 33 с.

97. Глазовский, Н. Ф. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна / Н. Ф. Глазовский, А. И. Злобина, В. П. Учватов // Региональный экологический мониторинг. – М.: Наука, 1983. – С. 67–86.

98. Голева, Р. В. Минералого-геохимические исследования нахождения токсичных веществ в природных и техногенных аномалиях для оценки их экологической опасности. Методические рекомендации / Р. В. Голева, И. И. Куприянова и др. – М.: ВИМС, 1997. – 41 с.

99. Голева, Р. В. Формы нахождения токсичных веществ в твердофазных объектах окружающей среды и методы их выявления / Р. В. Голева, В. Т. Дубинчук, В. В. Коровоушкин, Г. А. Сидоренко, Н. М. Чисткова // Геоэкологические исследования и охрана недр. – Вып. 3. – М.: АО «Геоинформмарк», 1994. – С. 42–59.

100. Голева, Р. В. Экологическая минералогия – новое научное направление в геоэкологии (становление, перспективы, развитие) / Р. В. Голева. – М.: Изд-во ВИМС, 2007. – 36 с.

101. Голева, Р. В. Экологическая минералогия – новое научное направление и ее возможности для решения социально-экологических проблем / Р. В. Голева // Социально-экологические проблемы регионов России: сборник. – М.: МНЭПУ, 2001. – С. 231–242.

102. Голобокова, Л. П. Химический состав атмосферного аэрозоля в арктическом районе по маршрутам морских экспедиций 2018-2019 гг. / Л. П. Голобокова, Т. В. Ходжер, О. Н. Изосимова, П. Н. Зенкова, А. О. Почуфаров и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2020. – Т. 33. – № 6. – С. 421–429.

103. Голохваст, К. С. Нано-и микроразмерные частицы атмосферных взвесей и их экологический эффект (на примере городов юга Дальнего Востока): автореф. д-ра биол. наук: 03.02.08 / Голохваст Кирилл Сергеевич. – Томск, 2014. – 43 с.

104. Голохваст, К. С. Редкоземельные минералы в атмосферных взвешах Караканского угольного кластера кузбасса по данным загрязнения снежного покрова / К. С. Голохваст, А. Н. Куприянов, Ю. А. Манаков, И. Ю. Чекрыжов, А. В. Поселюжная, В. А. Семенихин // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2014. – Выпуск 52. – С. 91–96.

105. Голохваст, К. С. Твердые частицы выхлопных газов автомобилей: монография / К. С. Голохваст, В. В. Чернышев, С. М. Угай. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2014. – 108 с.

106. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 Издание второе // ФГУГП «Красноярскгеолсъемка»; отв. исполнители Е. И. Берзон, В. Е. Барсегян, Т. А. Шаталина, Н. Я. Черненко; [под ред. Ю. С. Глухов]. – Москва, 2001 – 216 с.

107. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Томской области в 2019 году» / Управление охраны окружающей среды и ОГУ «Облкомприрода» Администрации Томской области. – Томск, 2020. – 136 с.

108. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. – 888 с.
109. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. – 844 с.
110. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Омской области в 2014 году». – Омск: Изд-во Манифест, 2015. – 200 с.
111. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Омской области в 2018 году». – Омск: ООО «Омскбланкиздат», 2019. – 318 с.
112. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2014 году». – Красноярск, 2015. – 294 с.
113. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году» – Красноярск, 2016. – 152 с.
114. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Томской области в 2020 году» / Управление охраны окружающей среды и ОГУ «Облкомприрода» Администрации Томской области. – Томск, 2021. – 133 с.
115. Грачева, И. В. Геоэкология снегового покрова урбанизированных территорий северной лесостепи Южного Урала: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Грачева Ираида Викторовна. – СПб., 2011. – 18 с.
116. Гребенева, О. В. Современная оценка загрязнения атмосферного воздуха в г. Караганде / О. В. Гребенева, М. Ю. Алешина, Н. К. Смагулов // Медицина и экология. – 2018. – № 3. – С. 26–31.
117. Гребенщикова, В. И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области / В. И. Гребенщикова // Вода: Химия и экология. – 2013. – № 2. – С. 19–25.
118. Григорьев, В. В. Геолого-экологические условия Омского промышленного района: отчет о геолого-экологических исследованиях и картографировании масштаба 1:200000 / В. В. Григорьев, Г. Л. Самсонов, Ю. П. Попов. – Новосибирск: Геоэкоцентр ГП «Березовгеология», 1999. – 234 с.
119. Григорьев, Н. А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих нижнюю часть континентальной коры / Н. А. Григорьев // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 785–792.
120. Григорян, С. В. Геохимические методы при решении некоторых экологических задач / С. В. Григорян, Ю. Е. Саэт // Советская геология. – 1980. – № 11. – С. 94–108.
121. Грин, Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн. – Л.: Изд-во «Химия», 1972. – 428 с.



122. Гритченко, З. Г. «Горячие» частицы 2-го рода в пойменных почвах р. Енисей / З. Г. Гритченко, Ю. В. Кузнецов, В. К. Легин и др // Радиохимия. – 2001. – № 6. – С. 563–565.
123. Губанова, Д. П. Элементный состав аэрозолей в приземном воздухе Москвы: сезонные изменения в 2019 и 2020 гг./ Д. П. Губанова, М. А. Иорданский, Т. М. Кудерина, А. И. Скороход, Н. Ф. Еланский, В. М. Минашкин // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 34. – № 06. – С. 400–407.
124. Давыдова, М. И. Физическая география СССР / М. И. Давыдова, Э. М. Раковская – М.: Просвещение, 1990. – Т. 2. – 304 с.
125. Давыдова, Н. Д. Проблемы загрязнения природной среды Сибири / Н. Д. Давыдова // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5-1. – С 186–189.
126. Давыдова, Н. Д. Техногенная трансформация топогеосистем при воздействии пылегазовых эмиссий (состояние, прогноз, мониторинг): автореф. дис. ... докт. геогр. наук: 25.00.23 / Давыдова Нина Даниловна. – Иркутск, 2001. – 56 с.
127. Девятова, А. Ю. Тяжелые металлы в депонирующих средах и прогнозная модель переноса примесей от стационарных техногенных источников: на примере г. Новосибирска: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Девятова Анна Юрьевна. – Томск, 2006. – 150 с.
128. Демаков, Ю. П. Зольный состав древесины различных пород деревьев в пойменном биотопе / Ю. П. Демаков, С. М. Швецов // Актуальные проблемы лесного комплекса Брянск. – 2012. – Вып. 31. – С. 125–129.
129. Демченко, А. И. Оценка загрязнения территории Восточно-Казахстанской области промышленными предприятиями и транспортом: информационный отчет по итогам работ 1991 г. / А. И. Демченко, Э. К. Шугрин. – Усть-Каменогорск, 1992. – 192 с.
130. Джамалов, А. А. Физико-химические основы комплексного использования вторичных ресурсов производства хлопкового масла и совместимости пластичных смазок: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 02.00.04 / Джамалов Абдурахим Абдурахманович. – Душанбе, 2007. – 46 с.
131. Добровольский, В. В. Основы биогеохимии / В. В. Добровольский. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
132. Довгалюк, Ю. А. Физика водных и других атмосферных аэрозолей / Ю. А. Довгалюк, Л. С. Ивлев. – Л.: Изд-во Университета, 1977. – 256 с.
133. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2018 году / Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области Администрации Кемеровской области. – Кемерово, 2019. – 206 с.
134. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2012 году / Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области Администрации Кемеровской области. – Кемерово, 2013. – 374 с.

135. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2015 году / Департамент природных ресурсов и экологии Кемеровской области Администрации Кемеровской области. – Кемерово, 2016. – 80 с.
136. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. – Москва, 2021. – 104 с.
137. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. – Москва, 2020. – 97 с.
138. Домаренко, В. А. Гамма-спектрометрические исследования поверхностных отложений нефтегазоносных площадей Западной и Средней Сибири / В. А. Домаренко, И. С. Соболев, Л. П. Рихванов // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – 2010. – Вып. 12. – С. 120–128.
139. Доронин, В. П. Перспективные разработки: катализаторы крекинга и добавки к ним / В. П. Доронин, П. В. Липин, О. В. Потапенко, Т. П. Сорокина и др. // Катализ в промышленности, 2014. – № 5. – С.82-87.
140. Доронин, В. П. Химический дизайн катализаторов крекинга / В. П. Доронин, Т. П. Сорокина // Российский химический журнал. – 2007 – №. 4. – С. 23–29.
141. Дроздовская, Л. Н. Влияние колхицина на морфогенез дрозофилы / Л. Н. Дроздовская, И. А. Рапопорт // Бюл. эксперим. биологии и медицины. – 1988. – № 1. – С. 125–128.
142. Евсеева, Н. С. География Томской области / Н. С. Евсеева. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2001. – 233 с.
143. Евсеева, Н. С. Современный эоловый морфолитогенез: изученность, региональные проявления / Н. С. Евсеева, Е. Г. Языков, З. Н. Квасникова, А. С. Батманова, В. С. Бучельников // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 11. – С. 96–107.
144. Ежегодник: состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2019 г. – Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2020. – 250 с.
145. Еланский, Ф. Е. Примеси в атмосфере континентальной России / Ф. Е. Еланский // Природа. – 2002. – № 2. – С. 32–43.
146. Емиленко, А. С. Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с разной степенью антропогенной нагрузки / А. С. Емиленко, В. М. Копейкин // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22. – № 6. – С. 535– 540.
147. Еремина, И. Д. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмосковье за период 1999–2006 гг. / И. Д. Еремина, А. В. Григорьев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2010. – № 3. – С. 55–60.

148. Ермолов, Ю. В. Зимний фоновый сток примесей атмосферы на юго-востоке Западной Сибири / Ю. В. Ермолов, Н. Б. Смоленцев // Оптика атмосферы и океана. – 2020. – Т. 33. – № 1. С. 75-81.

149. Ермолов, Ю. В. Фоновые концентрации химических элементов в снежном покрове центрального сектора Западной Сибири / Ю. В. Ермолов, И. Д. Махатков, С. А. Худяев // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – № 9. – С. 790–800.

150. Жамбалова, Д. И. Загрязнение снежного покрова г. Улан-Удэ / Д. И. Жамбалова // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: технология, климат и экология: Материалы II-ой Байкальской международной научно-практической конференции. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2018. – С. 80–84.

151. Жорняк, Л. В. Редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы в почвенном покрове урбанизированных территорий (на примере г. Томска) / Л. В. Жорняк, Е. Г. Языков // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2008. – № 4. – С. 82 – 84.

152. Жорняк, Л. В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: автореф. дис.: ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Жорняк Лина Владимировна. – Томск, 2009. – 24 с.

153. Журавлева, Н. В. Загрязнение снегового покрова полициклическими ароматическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, З. Р. Исмагилов, Е. Р. Хабибулина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 5. – С. 445–454.

154. Журавлева, Н. В. Обоснование, разработка и развитие методов оценки влияния добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды: дис. д-ра тех. наук: 25.00.36 / Журавлева Наталья Викторовна. – Москва, 2017. – 341 с.

155. Завадский, В. Н. Экспериментальное исследование морфогенных свойств некоторых фенолов индуцирующих витилиго / В. Н. Завадский, Е. М. Хованова // Генетика. – 1975. – Т. XI. – № 2. – С. 132 – 139.

156. Загороднов, С. Ю. Мелкодисперсные частицы (PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов / С. Ю. Загороднов, И. В. Май, А. А. Кокоулина // Гигиена и санитария. – 2019. – 98(2). – С. 142-147.

157. Занин, Ю. Н. Редкоземельные элементы в баженовской свите Западно-Сибирского осадочного бассейна / Ю. Н. Занин, А. Замирайлова, В. Эдер, В. Красавчиков // Литосфера. – 2011. – № 6. – С. 38–54.

158. 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. – 22 с.
159. Захарченко, А. В. Региональный и локальный геохимические переносы веществ, депонированные в снеговом покрове / А. В. Захарченко, А. А. Тигеев, О. А. Пасько, Л. Г. Колесниченко, Д. В. Московченко // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2020. – № 6. – С. 41–53.
160. Захарченко, А. В. Пространственное распределение геохимических компонентов снегового покрова на удалении от Томск-Северской промышленной агломерации / А. В. Захарченко, А. А. Тигеев, О. А. Пасько, Л. Г. Колесниченко, Д. В. Московченко // Криосфера Земли. – 2021. – Т. 25. – № 6. – С. 16–27.
161. Зибарева, Н. И. Экологические аспекты комплексного использования ресурсов пластовых вод нефтяных месторождений Томской области / Н. И. Зибарева // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 1 (2). – С. 5–9.
162. Зинченко, Н. С. Гигиеническое ранжирование - основа обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.07 / Зинченко, Николай Семенович. – Москва, 1999. – 21 с.
163. Злобина, А. Н. Граниты с повышенным радиационным фоном и некоторые радиоэкологические проблемы в районах их распространения: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Злобина Анастасия Николаевна. – Томск, 2019. – 122 с.
164. Знаменская, Т. И. Миграция и дифференциация поллютантов в степных ландшафтах юга Минусинской котловины: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.23 / Знаменская Татьяна Игоревна. – Иркутск, 2015. – 23 с.
165. Зуев, В. А. Уран в природных водах Западной Сибири: геохимия и техногенез / В. А. Зуев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы Межд. конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 120–123.
166. 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.
167. Иванов, А. Ю. Уран и торий в донных отложениях непроточных водоемов юга Томской области / А. Ю. Иванов // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 1 – С. 159–165.
168. Иванов, А. Ю. Экогеохимия донных отложений малых водоёмов юга Томской области: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Иванов Андрей Юрьевич. – Томск, 2018. – 22 с.

169. Иванов, В. В. Экологическая геохимия элементов / В. В. Иванов / Справочник в 6 кн.; [под ред. В. К. Буренкова]. – М.: Экология, 1997. – 607 с.
170. Ивлев, Л. С. Аэрозольное воздействие на климатические процессы / Л. С. Ивлев // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24. – № 5. – С. 392–410.
171. Ивлев, Л. С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей / Л. С. Ивлев – Л.: Изд-во Лен. Ун-та, 1982. – 368 с.
172. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
173. Ильенок, С. С. Геохимия элементов-примесей в углях Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.09 / Ильенок Сергей Сергеевич. – Томск, 2018. – 207 с.
174. Ильенок, С. С. Самородные элементы в углях и золах углей Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна / С. С. Ильенок // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – № 1. – С. 65–71.
175. Ильинских, Н. Н. Генетические и психофизиологические изменения у людей после радиационного воздействия / Н. Н. Ильинских, Н. А. Мешков и др. – Томск: Изд-во СГМУ, 1996.
176. Ильченко, Н. В. Развитие техногенного загрязнения г. Томска тяжёлыми металлами по данным изучения приземного слоя атмосферы и депонирующих сред: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 11.00.11 / Ильченко Наталия Викторовна. – Томск, 2000. – 29 с.
177. ИТС-6 Производство цемента: справочник по наилучшим доступным технологиям / Бюро НДТ – Москва, 2015. – 305 с.
178. Кабанов, М. В. Рассеяние оптических волн дисперсными средами. III Атмосферный аэрозоль / М. В. Кабанов, М. В. Панченко – Томск: Изд-во ТФ СО АН СССР, 1984. – 189 с.
179. Кажумуханова, М. З. Элементы-примеси в угольных месторождениях Казахстана / М. З. Кажумуханова, С. И. Арбузов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 1. – С. 105–106.
180. Калашникова, Д. А. Стабильные изотопы углерода и азота в объектах окружающей среды: использование в геоэкологических исследованиях для пространственно-временной индикации загрязнения окружающей среды: научный доклад об основных результатах научно-квалификационной работы аспиранта: 05.06.01 / Калашникова Дарья Андреевна. – Томск, 2020. – 127 с.
181. Калинин, Е. П. Геохимическая специализация нефти и ее природа / Е. П. Калинин // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2009. – №. 1 – С. 6-12.

182. Калинина (Панасюк), С. Ю. Поиск рационального использования экибастузских углей / С. Ю. Калинина (Панасюк), С. И. Арбузов, С. Г. Маслов // Труды II Международной Казахстанско-Российской конференция по химии и химической технологии. – Караганда: КарГУ, 2012. – Т. 2 – С. 26–29.
183. Кара-Сал, И. Д. Оценка эколого–геохимического состояния территории города Кызыла (Республика Тыва): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Кара-Сал Ирина Дарымаевна. – Томск, 2012. – 24 с.
184. Касимов, Н. С. Геохимия городов и городских ландшафтов / Н. С. Касимов // Экология города. М.: Научный мир, 2004. – С. 234–268.
185. Касимов, Н. С. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы / Н. С. Касимов, Д. В. Власов, Н. Е. Кошелева, Е. М. Никифорова. – М.: АПР, 2016. – 276 с.
186. Касимов, Н. С. Экогеохимия ландшафтов / Н. С. Касимов – М.: ИП Филимонов М.В., 2013. – 208 с.
187. Касимов, Н. С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). Картографическое обеспечение / Н. С. Касимов, Е. М. Никифорова, Н. Е. Кошелева, Т. С. Хайбрахманов // Геоинформатика. – 2012. – № 4. – С. 37–45.
188. Касимов, Н. С. Геохимические принципы эколого-географической систематики городов / Н. С. Касимов, А. И. Перельман // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1993. – № 3. – С. 16–21.
189. Касимов, Н. С. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева, Д. В. Власов, Е. В. Терская // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 2012. – С. 14–24.
190. Касимов, Н. С. Методология и методика ландшафтно-геохимического анализа городов / Н. С. Касимов // Экогеохимия городских ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 6–39.
191. Касимов, Н. С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 2015. – № 2. – С. 7–17.
192. Кизильштейн, Л. Я. Компоненты зол и шлаков ТЭС / Л. Я. Кизильштейн, Н. В. Дубов, А. Л. Шпицглюз, С. Г. Парада – М.: Энерго-атомиздат, 1995. – 176 с.
193. Кизильштейн, Л. Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях / Л. Я. Кизильштейн – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 296 с.
194. Китайкина, М. Н. Оценка уровня загрязнения атмосферы ртутью в городе Ханты-Мансийск / М. Н. Китайкина // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2017. – Т. 3. – № 2. – С. 47–55.

195. Климова, А. А. Комплексная эколого-геохимическая оценка бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Климова Алена Андреевна. – Томск, 2021. – 206 с.
196. Климова, Т. А. Экологические проблемы регионов Западной Сибири / Т. А. Климова // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2012. – № 10. – С. 137–127.
197. Ковальский, В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский – М.: Наука, 1974. – 298 с.
198. Ковальский, В. В. Регионы биосферы – основа биогеохимического районирования / В. В. Ковальский // Биосфера и ее ресурсы. – М.: Наука, 1971. – С. 90–131.
199. Коженкова, З. П. Климат Томской области и его формирование / З. П. Коженкова, Н. В. Рутковская // Вопросы географии Сибири. Сб. 6. – Изд-во Томского государственного университета, 1966. – С. 3–40.
200. Коломыц, Э. Г. Теория эволюции в структурном снеговедении / Э.Г. Коломыц – М.: ГЕОС, 2013. – 482 с.
201. Кондратьев, К. Я. Аэрозоль и климат / К. Я. Кондратьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 544 с.
202. Копейкин, В. М. Наблюдение содержания субмикронного аэрозоля в атмосфере над Россией в международных экспедициях TROICA / В. М. Копейкин // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – № 11. – С. 970–976.
203. Копылов, И. С. Аномалии тяжелых металлов в почвах и снежном покрове города Перми как проявления факторов геодинамики и техногенеза / И. С. Копылов // Фундаментальные исследования. – 2013. – №1. – С. 335–339.
204. Коробова, Е. М. Комплексная оценка эколого-геохимического состояния техногенно трансформированных территорий / Е. М. Коробова // Геохимия. – 2017. – № 10. – С. 863–874.
205. Корогод, Н. П. Оценка качества урбоэкосистемы в условиях г. Павлодара по данным элементного состава волос детей: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.02.08 / Корогод Наталья Петровна. – Томск, 2010. – 21 с.
206. Королёва, Г. П. Формы нахождения металлов – экотоксикантов в пылевой составляющей снегового покрова (Южное Прибайкалье) / Г. П. Королёва, О. Ю. Белозёрова, М. С. Холодова // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 2 (73). – С. 73–79.
207. Котова, Е. И. Оценка влияния местных источников загрязнения и дальнего переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Арктики: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Котова Екатерина Ильинична. – Ростов н/Дону, 2013. – 23 с.

208. Кошелева, Н. Е. Геохимия ландшафтов Улан-Батора / Н. Е. Кошелева, Н. С. Касимов, О. И. Сорокина, П. Д. Гунин, С. Н. Бажа, С. Энх-Амгалан // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2013. – № 5. – С. 109–114.

209. Кошелева, Н. Е. Математическое моделирование ландшафтно-геохимических процессов / Н. Е. Кошелева // География, общество, окружающая среда. Том II: Функционирование и современное состояние ландшафтов. – М: Изд. дом «Городец», 2004. – С. 528–545.

210. Кошелева, Н. Е. Математическое моделирование миграционных процессов в ландшафтно-геохимических систем: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук.: 25.00.23 / Кошелева Наталья Евгеньевна. – М., 2003. – 41 с.

211. Кошелева, Н. Е. Моделирование почвенных и ландшафтно-геохимических процессов: учебное пособие / Н. Е. Кошелева. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 109 с.

212. Кошелева, Н. Е. Пространственно-временные тренды и факторы загрязнения почвенного покрова Москвы / Н. Е. Кошелева, А. Г. Цыхман // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2018. – Т. 26. – № 2. – С. 207–236.

213. Кравченко, Я. Н. Сравнение геохимических показателей почв Кожевниковского района Томской области и территории США / Я. Н. Кравченко // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых ученых им. акад. М. А. Усова. – Томск, 2014. – Т. 1. – С. 729–731.

214. Кренделев, Ф. П. Геохимические и дистанционные поиски в зимний период / Ф. П. Кренделев, Г. С. Бордонский // Геохимические критерии прогнозной оценки оруденения: сб. статей. Новосибирск: СО Наука. 1990.

215. Крутских, Н. В. Задачи и принципы территориального геоэкологического менеджмента урбанизированных территорий / Н. В. Крутских, И. И. Косинова // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2016. – № 2. – С. 141–146.

216. Куатова, Г. Б. Снижение негативного воздействия техногенных отходов ферросплавного производства / Г. Б. Куатова, М. А. Саденова // Казахстанские инновации для Экспо-2017: разработки и осваиваемые технологии. – Усть-Каменогорск, 2016. – С. 55–59.

217. Кудерина, Т. М. Геохимический состав атмосферных осадков лесостепных ландшафтов Курской биосферной станции / Т. М. Кудерина, В. Н. Лунин, С. Б. Сулова // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 2. – С. 78–83.

218. 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.



219. Кулматов, Р. А. Содержание и формы нахождения тяжелых металлов в атмосферном воздухе и осадках / Р. А. Кулматов, Б. Абдуллаев, А. А. Кист, Л. И. Борисова, Н. Б. Борисов // Геохимия. – 1983. – № 10. – С. 1447–1452.
220. Куценогий, К. П. Мониторинг химического и дисперсного состава атмосферных аэрозолей Сибири / К. П. Куценогий // Химия в интересах устойчивого развития. – 1997. – Т. 5. – С. 457–471.
221. Лабузова, О. М. Оценка уровня загрязнения нефтепродуктами атмосферы города Барнаула по результатам исследования снежного покрова / О. М. Лабузова, Т. В. Носкова, М. С. Лысенко, Т. С. Папина // Известия АО РГО. – 2016. – № 1 (40). – С. 53–56.
222. Ларин, С. А. Эпидемиологический анализ онкологической заболеваемости населения Кемеровской области за 1990-2005 гг. и прогноз до 2015 года / С. А. Ларин, В. В. Браиловский, С. А. Мун, Т. В. Целищева-Седых, Ю. А. Магарилл, А. Н. Глушков, К. Г. Громов. – Кемерово, 2008. – 31 с.
223. Ларина, Н. С. Химико-экологический мониторинг снегового покрова города Тюмени / Н. С. Ларина, М. Н. Куранова, Н. С. Палецких // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 11. – С. 38-41.
224. 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.
225. Латыпова, З. Б. Глиноземсодержащие минералы: география месторождений, технология переработки, использование / З. Б. Латыпова, Р. М. Халиков // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2016. – № 5. – С. 223–225.
226. Леженин, А. А. Исследование процессов атмосферного загрязнения территорий Сибири на основе гидродинамических моделей и данных наблюдений: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.29 / Леженин Анатолий Александрович. – Новосибирск, 2013. – 16 с.
227. Леженин, А. А. Оценка влияния рельефа местности на распространение пылевых выбросов Искитимского цементного завода / А. А. Леженин, В. Ф. Рапуга, Т. В. Ярославцева, И. А. Соловьёва // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2015. – Т. 1. – С. 144–160.
228. Леонова, Г. А. Радиоактивное загрязнение биогеоценоза реки Томь в зоне влияния предприятий ядерно-топливного цикла / Г. А. Леонова, А. В. Торопов, В. А. Бобров и др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2006. – № 3. – С. 225–234.
229. Лепокурова, О. Е. Геохимия подземных вод района Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) / О. Е. Лепокурова, И. С. Иванова // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 353. – С. 212–216.

230. 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.

231. Летувнинкас, А. И. Антропогенные геохимические аномалии и природная среда: учебное пособие / А. И. Летувнинкас. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 290 с.

232. Летувнинкас, А. И. Геохимические аспекты формирования техногенного загрязнения территории города / А. И. Летувнинкас // Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий: Труды Международной научной конференции. – Томск, 1999. – С. 58–59.

233. Линник, В. Г. Автоматизация построения карт для мониторинга окружающей среды (на примере геохимических карт Московской области): дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.35 / Линник Виталий Григорьевич. – М., 1985. – 185 с.

234. Линник, В. Г. Оперативное картографирование региональных геохимических полей для мониторинга / В. Г. Линник, Ю. Е. Саев, Р. С. Смирнова // Моделирование процессов экологического развития: Сборник трудов. – Вып. 13. – М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1986. – С. 71–77.

235. Лисицын, А. П. Аридная седиментация в мировом океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы / А. П. Лисицын // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 10. – С. 1398–1439.

236. Литау, В. В. Оценка пылевого загрязнения территории г. Омска по данным снеговой съемки / В. В. Литау, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков, А. Д. Лончакова, М. И. Третьякова // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 28. – № 3. – С. 256–259.

237. Логинова, И. В. Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии: учебное пособие / И. В. Логинова, А. А. Шопперт, Д. А. Рогожников, А. В. Кырчиков. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. – 253 с.

238. Ломакина, Н. Я. Объективная классификация и статистическое моделирование метеорологических полей в пограничном слое атмосферы для Западной Сибири: автореф. канд. физ.-мат. наук: 25.00.29 / Ломакина Наталья Яковлевна Томск, 2008. – 22 с.

239. Лукашин, В. Н. Химический состав аэрозолей северной Атлантики / В. Н. Лукашин, А. В. Ключиткин, В. А. Бобров, О. М. Дара, В. П. Шевченко // Океанология. – 2018. – Т. 58. – № 5. – С. 781–791.

240. Лукашин, В. Н. О геохимии аэрозолей в тропической Атлантике (по результатам 35-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш») / В. Н. Лукашин, Г. В. Иванов, В. В. Польшин, Е. Г. Гурвич // Геохимия. – 1996. – № 10. – С. 985–994.

241. Лучкина, Л. А. Изучение радиочувствительных линий дрозофилы / Л. А. Лучкина, Ю. М. Хромых, В. И. Шарыгин // Генетика. – 1982. – Т. XVIII. – № 4. – С. 625–631.

242. Ляпина, Е. Е. Мониторинг техногенной трансформации городских почв (на примере г. Томска) / Е. Е. Ляпина // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2020. – № 5. – С. 154–160.
243. Ляпина, Е. Е. Экогеохимия ртути в природных средах Томского региона: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Ляпина Елена Евгеньевна. – Томск, 2012. – 154 с.
244. Макаров, В. Н. Геохимия снежного покрова таежных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии / В. Н. Макаров // Лед и снег. – 2014. – № 1 (125). – С. 73–80.
245. Макаров, В. Н. Экогеохимия окружающей среды города, расположенного в криолитозоне на примере Якутска / В. Н. Макаров // Региональная экология. – 2016. – № 4 (46). – С. 80–94.
246. Макарова, Н. В. Геоморфология: учебное пособие / Н. В. Макарова, Т. В. Суханова. – Москва, 2015. – 414 с.
247. Максимова, А. Ю. Особенности элементного и минерального состава ряски (*Lemnaceae*) на территории южных районов Томской области / А. Ю. Максимова // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – Т. 1. – С. 813–815.
248. Максимова, А. Ю. Уран и торий в многокореннике обыкновенном и торий в многокореннике обыкновенном (*Spirodelapolyrhiza*, *Lemnoideae*) на территории Томской области / А. Ю. Максимова // Геология в развивающемся мире. – 2014. – С. 197–200.
249. Малыгина, Н. С. Изотопный состав зимних атмосферных осадков и снежного покрова в предгорьях Алтая / Н. С. Малыгина, А. Н. Эйрих, Н. Ю. Курепина, Т. С. Папина // Лёд и Снег. – 2017. – Т. 57. – № 1. – С. 57–68.
250. Манаева, И. В. Города России: классификация и типология / И. В. Манаева // Региональная экономика: теория и практика. – 2018. – Т. 16. – № 7. – С. 1235–1249.
251. Мананков, А. В. Определение уровня загрязнения пылью снежного покрова г. Кызыла (Республика Тыва) / А. В. Мананков, И. Д. Кара-Сал // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 3. – С. 308–314
252. 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.
253. Межибор, А. М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Межибор Антонина Михайловна. – Томск, 2009. – 22 с.

254. Мельчаков, Ю. Л. Некоторые тренды аэротехногенного загрязнения на Урале / Ю. Л. Мельчаков, А. И. Семячков, В. А. Почечун, А. Е. Козаренко, В. Т. Суриков, М. В. Архипов // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – №10. – С. 2471–2476.

255. Методические рекомендации «Оценка мутагенных свойств фармакологических средств» // *Ведомости фармакологического комитета*. – 1998. – № 4. – С. 32–39.

256. Методические рекомендации Минздрав СССР. Применение соматического мутагенеза у *Drosophila melanogaster* в качестве тест-системы для ускоренного определения канцерогенов. – М., 1992. – 35 с.

257. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б. А. Ревич, Ю. И. Саэт, Р. С. Смирнова, Е. П. Сорокина. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 111 с.

258. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ю. Е. Саэт, И. Л. Башаркевич, Б. А. Ревич. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.

259. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве: утв. Гл. государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 г., №5174-90.

260. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б. А. Ревич, Ю. Е. Саэт, Р. С. Смирнова. – М.: ИМГРЭ, 2006. – 7 с.

261. Минералого-геохимические исследования форм нахождения токсичных веществ в природных и техногенных аномалиях для оценки их экологической опасности. Методические рекомендации НСОММИ № 17. – М., 1997.

262. Мирошников, А. Е. Оценка территориального экологического равновесия Центральной Сибири / А. Е. Мирошников, Т.П. Стримжа, Л.Г. Смолянинова [и др.]; ред. В. Г. Сибгатулин; Краснояр. науч.-исслед. ин-т геологии и минер. сырья (КНИИГиМС). – Красноярск, 2003. – 191 с.

263. Михалев, М. В. Снежные полигоны как объекты негативного воздействия на компоненты окружающей среды: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Михалев Михаил Викторович. – Барнаул, 2021. – 20 с.

264. Михальчук, А. А. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений. Часть II. Компьютерный практикум: учебное пособие / А. А. Михальчук, Е. Г. Язиков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 152 с.

265. Моисеенков, О. В. Эколого-геохимический анализ промышленного города (на примере г. Тольятти): дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.01 / Моисеенков Олег Витальевич. – М., 1989. – 243 с.

266. Монголина, Т. А. Геохимические особенности солевых отложений питьевых вод (накипи) как индикатора природно-техногенного состояния территории: дис. ... кандидат. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Монголина Татьяна Александровна. – Томск, 2011. – 148 с.

267. Москвитина, Н. С. Некоторые показатели функционального состояния популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения среды / Н. С. Москвитина, Н. П. Бабушкина и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы международной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 391–394.

268. Московченко, Д. В. Геохимическая характеристика снежного покрова г. Тобольск / Д. В. Московченко, Р. Ю. Пожитков, А. В. Соромотин / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 5. – С. 156–169.

269. Московченко, Д. В. Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация вещества геосистем и проблемы экодиагностики: автореф. дис. ... д-ра. географ. наук: 25.00.23 / Московченко Дмитрий Валерьевич – СПб., 2010. – 33 с.

270. Московченко, Д. В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области / Д. В. Московченко. – Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1998. – 112 с.

271. 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.

272. Мун, С. А. Заболеваемость раком легкого населения Кемеровской области с 1990 по 2009 годы / С. А. Мун, В. В. Браиловский, С. Ф. Зинчук // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 9. – С. 1081–1086.

273. Мун, С. А. Оценка относительных рисков развития онкологических заболеваний у работников ОАО «Кокс» города Кемерово / С. А. Мун // Бюллетень СО РАМН. – 2005. – № 4. – С. 69–72.

274. Мухаматдинова, А. Р. Оценка влияния предприятий нефтехимического комплекса на объекты окружающей среды / А. Р. Мухаматдинова, А. М. Сафаров, А. Т. Мугасамова, Р. М. Хатмуллина // Георесурсы. – 2012. – №. 8 (50). – С. 46–50.

275. Мякишева, Н. А. Качество атмосферного воздуха – как фактор, влияющий на здоровье человека / Н. А. Мякишева, Т. В. Германова // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. – М.: Академия наук о Земле, 2005. – Т. 3. – С. 108–109.

276. Назаров, А. Д. Нефтегазовая гидрогеохимия юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / А. Д. Назаров. – М.: Идея-Пресс, 2004. – 288 с.

277. 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.

278. Назаров, И. М. Снежный покров как индикатор загрязнения атмосферы / И. М. Назаров, О. С. Ренне, Ш. Д. Фридман, Л. Г. Шаповалов, Э. П. Махонько // *Труды Института физики и математики АН Литовской ССР*. – 1976. – № 3. – С. 7–12.

279. Наркович, Д. В. Элементный состав волос детей как индикатор природно-техногенной обстановки территории (на примере Томской области): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Наркович Дина Владимировна. – Томск, 2012. – 21 с.

280. Некипелый, В. Л. Результаты эколого-геохимической съёмки территории города Новокузнецка и пригородной зоны / В. Л. Некипелый, С. А. Некипелая // *Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Материалы научной конференции*. – Томск.: Изд-во Томского государственного университета, 1998. – Т. 3. – С. 280–281.

281. Некипелый, В. Л. Техногенное влияние южного Кузбасса как причина деградации биосистем в бассейне реки Усы / В. Л. Некипелый, С. А. Некипелая // *Вестник ТГУ*. – 2003. – № 3 (V). – С. 187–189.

282. Нестеров Е. М., Зарина Л. М., Пискунова М. А. Мониторинг поведения тяжелых металлов в снежном и почвенном покровах центральной части Санкт-Петербурга / Е. М. Нестеров, Л. М. Зарина, М. А. Пискунова // *Вестник МГОУ*. – 2009. – № 1. – С. 5–15.

283. Нестеров, Е. М. Исследования состояния снегового покрова Санкт-Петербурга / Е. М. Нестеров, Л. М. Зарина, М. А. Маркова, И. В. Грачева, А. В. Воронцова, Ю. А. Макарова // *Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства*. – 2019. – № 1. – С. 29–35

284. Нифантов, Б. Ф. Угли Кузбасса: химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений / Б. Ф. Нифантов и др.; [отв. ред. Е. Л. Счастливец]. – Кемерово: ИУ СО РАН, 2011. – 310 с.

285. Новиков, Ю. А. Типизация эколого-геохимических изменений природной среды Крыма / Ю. А. Новиков, Л. Н. Новикова // *Пошукова та екологічна геохімія*. – 2003. – № 2/3. – С. 66–72.

286. 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.

287. Носенко, Ю. Г. Экологические проблемы Павлодарской области / Ю. Г. Носенко, Р. З. Сафаров, Р. Ж. Муканова, К. З. Жунусова, М. Баймурат, А. Т. Жанибекова // *Global science and innovations 2018: Materials of the International Scientific Conference*. – Евразийский центр инновационного развития DARA, 2018. – С. 217–223.

288. Носкова, Е. В. Ветровой режим Забайкальского края / Е. В. Носкова, В. А. Обязов // Учёные записки ЗабГУ. – 2015. – № 1 (60). – С. 115–121.
289. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2017 год. – М.: Росгидромет. – 2018. – 205 с.
290. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2019 год. – М.: Росгидромет. – 2020. – 245 с.
291. Овсейчук, В. А. Радиационные выбросы от угольных ТЭС / В. А. Овсейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова // Вестник ЗабГУ. – 2012. – № 10 (89). – С. 24–29.
292. Онищенко, Г. Г. Влияние факторов внешней среды на здоровье человека / Г. Г. Онищенко // Иммунология. – 2006. – Т. 27. – № 6. – С. 352–356.
293. Онищенко, Г. Г. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин, С. Л. Авалиани, К. А. Буштуева. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС. – 2002. – 408 с.
294. Онищук, Н. А. Особенности современного режима снежного покрова и химический состав атмосферных осадков в южной части Иркутской области: автореф. дис. ... канд. географ. наук: 25.00.30 / Онищук Наталья Анатольевна. – Казань, 2010. – 23 с.
295. Онучин, А. А. Загрязнение снежного покрова в зоне воздействия предприятий Норильского промышленного района / А. А. Онучин, Т. А. Буренина, О. Н. Зубарева, О. В. Трефилова, И. В. Данилова // Сибирский экологический журнал. – 2014. – № 6. – С. 1025–1037.
296. Орлова, В. В. Климат СССР. Западная Сибирь. / В. В. Орлова. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 350 с.
297. Осипова, Н. А. Влияние угледобывающих предприятий на загрязнение снегового покрова прилегающих урбанизированных территорий (на примере г. Междуреченск) / Н. А. Осипова, А. А. Быков, А. В. Таловская, А. Н. Николаенко, Е. Г. Языков, С. А. Ларин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 12. – С. 36–46.
298. Осипова, Н. А. Риски ингаляционного влияния токсичных микроэлементов в окрестностях локальных котельных / Н. А. Осипова, Е. А. Филимоненко, А. В. Таловская, Е. Г. Языков, Т. С. Шахова // Безопасность в техносфере. – 2018. – № 3. – С. 10–18.
299. Осипова, Н. А. Экологические риски от влияния токсичных элементов в атмосферном воздухе на основе изучения снежного покрова в районе расположения Томской ГРЭС-2 / Н. А. Осипова, А. В. Таловская, Е. А. Филимоненко, Е. Г. Языков, С. А. Новиков // Известия Томского политехнического университета. – 2018. – Т. 329. – № 4. – С. 54–69.
300. Осокин, И. М. Химический состав снежного покрова на территории СССР / И. М. Осокин // Известия АН СССР. Серия: география – 1963. – №3. – С. 55–58.

301. Остромогильский, А. Х. Тяжелые металлы в атмосфере: Источники поступления и методы оценки их влияния / А. Х. Остромогильский, В. А. Петрухин // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 2. – С. 56–70.

302. Официальный сайт Газпромнефть – ОНПЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://onpz.gazprom-neft.ru/>

303. Очерки геохимии человека / Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов, Т. Н. Игнатова, Д. В. Наркович, О. А. Денисова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 378 с.

304. Павлов, В. Е. Мезомасштабный характер распространенности ряда химических элементов в аэрозоле, загрязняющем снежный покров городов Кемеровской области / В. Е. Павлов, И. А. Суторихин, И. В. Хвостов // Оптика атмосферы и океана. 2007. – Т. 20. – № 01. – С. 96-97.

305. Павлов, В. Е. Закономерности аэрозольных выпадений полиароматических углеводородов в сфере влияния г. Барнаула / В. Е. Павлов, С. В. Морозов, В. Ф. Рапуга, В. В. Коковкин, И. В. Хвостов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2011. – Т. 29. – С. 287–294.

306. Пампура, В. Д. Геохимические исследования и картографирование снегового покрова Прибайкалья / В. Д. Пампура, И. С. Ломоносов, А. Г. Арсентьева, А. Е. Гапон // Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование (обзор). – М.: Изд-во АОЗТ «Геоинформмарк», 1993. – 42 с.

307. 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.

308. Парначев, В. П. Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска / В. П. Парначев, С. В. Парначев. – Томск: Изд-во Томского государственного университета. – 2010. – 165 с.

309. Пасечник, Е. Ю. Эколого-геохимическое состояние природных вод территории города Томска (правобережной части р. Томь): дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Пасечник Елена Юрьевна. – Томск: 2010. – 195 с.

310. Пат. 2229737 Россия, МПК7 G 01 V 9/00. Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами / Е. Г. Языков, А. Ю. Шатилов, А. В. Таловская; заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет. – № 2002127851; заявл. 17.10.2002; опубл. 27.05.2004.



311. Пат. 2229737 Россия, МПК7 G 01 V 9/00. Способ определения загрязненности снегового покрова радиоактивными компонентами / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская, А. Ф. Судыко Е. А. Филимоненко; заявитель и патентообладатель: Томский политехнический университет. – №2011100193/28; заявл. 11.01.2011; опубл. 20.06.2012.

312. Патент 2036237 Россия, МПК7 C12N15/01. Способ определения наличия мутагенного фактора в пробе / Е. Г. Угнивенко, Е. М. Хованова, И. Л. Веселая, Г. А. Белицкий, Р. Д. Сафаев.; заявитель и патентообладатель Институт молекулярной генетики РАН. – № 5056809/13; заявл. 28.07.1992; опубл. 27.05.1995.

313. Пашкевич, М. А. Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга / М. А. Пашкевич, Дж. Бек, В. А. Матвеева, А. В. Алексеенко // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 125–130.

314. Пашкевич, М. А. Мониторинг загрязнения почв в районе воздействия ОАО Новоросцемент / М. А. Пашкевич, А. В. Алексеенко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 10. – С. 369–376.

315. Пененко, В. В. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. / В. В. Пененко, А. Е. Алоян. – Новосибирск: Наука, 1985. – 256 с.

316. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов – М.: Астрей–2000, 1999. – 768 с.

317. Перминова, Т. А. Бром в компонентах природной среды Томской области и оценка его токсичности: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Перминова Татьяна Анатольевна. – Томск, 2017. – 182 с.

318. Платонова, С. Г. Эколого-геоморфологические особенности трансграничного взаимодействия в бассейне реки Иртыш / С. Г. Платонова, В. В. Скрипко // Мир науки, культуры, образования. – 2012. – № 5 (36). – С. 320–325.

319. Погребняк, Ю. Ф. Ореолы рассеяния золота в снежном покрове на поверхности рудопроявления / Ю. В. Погребняк, Э. М. Татьянкина, В. В. Толочко // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 245. – № 4. – С. 953–955.

320. Пожитков, Р. Ю. Геохимия снежного покрова г. Нижневартовска / Р. Ю. Пожитков, Д. В. Московченко, А. А. Кудрявцев // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 6–24.

321. Пожитков, Р. Ю. Оценка пылевых выпадений в снежном покрове с использованием данных дистанционного зондирования Земли (на примере г. Нижневартовск) / Р. Ю. Пожитков, А. А. Тигеев, Д. В. Московченко // Оптика атмосферы и океана. – 2020. – Т. 33. – № 10. – С. 25–35.

322. Попов, А. Я. Эколого-гидрогеологические условия эксплуатации систем водоснабжения г. Томска и г. Северска вблизи хранилищ радиоактивных отходов / А. Я. Попов, О.Д. Лукашевич, Л. В. Попова // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы Международной конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1996. – С. 298–300.
323. Попов, Ю. П. Радиоактивное загрязнение снеговых выпадений в зоне влияния ТЭЦ / Ю. П. Попов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы. III Международной конференции. – Томск: Изд-во STT, 2009. – С. 471–474.
324. Почвенно-географическое районирование юго-восточной части Западной Сибири: масштаб 1:2500000 / ред. Р.В. Ковалёв. – М.: ГУГК, 1977. – 82 с.
325. Почечун, В. А. Региональный геоэкологический анализ природно-техногенной геосистемы горно-металлургического комплекса Среднего Урала: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Почечун Виктория Александровна. – Томск, 2014. – 50 с.
326. Прикладные и экологические аспекты минералогии. Годичная сессия Московского отделения ВМО. – Звенигород. – 1991. – Кн. 1. – 236 с.
327. Пришивалко, А. П. Человек в мире аэрозолей / А. П. Пришивалко, Л. Г. Астафьева. – Минск: Наука и техника, 1989. – 158 с.
328. Программа ПЭЭФ АО «Искитимцемент» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://minpromtorg.gov.ru/docs/#!/programma\\_povysheniya\\_ekologicheskoy\\_effektivnosti\\_ao\\_iskitim\\_cement](http://minpromtorg.gov.ru/docs/#!/programma_povysheniya_ekologicheskoy_effektivnosti_ao_iskitim_cement)
329. Прокачева, В. Г. Снежный покров в сфере влияния города / В. Г. Прокачева, В. Ф. Усачев. – Л.: Гидрометиздат, 1989. – 194 с.
330. Пузанов, А. В. Загрязнение окружающей среды под влиянием горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятий Алтая / А. В. Пузанов, Ю. В. Робертус, И. В. Горбачев, С. В. Бабошкина, Р. В. Любимов // Проблемы региональной экологии. – 2008. – № 6. – С. 28–32.
331. Пунанова, С. А. Микроэлементы нефтидов в процессе онтогенеза углеводородов в связи с нефтегазоносностью: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.12 / Пунанова Светлана Александровна. – Москва, 2017. – 288 с.
332. Путеводитель по району геоэкологической практики в Хакасии: учебное пособие / Л. П. Рихванов, Е. Г. Язиков, С. И. Арбузов, А. Ю. Шатилов, В. Г. Язиков, В. М. Худяков. – 3-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 91 с.
333. Р 52.18.851-2016. О введении в действие рекомендаций. Основные средства измерений гидрометеорологического назначения, применяемые на государственной наблюдательной сети. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2016. – 80 с.

334. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиозащиты: учебное пособие / Л. П. Рихванов. – Томск: SST, 2009. – 430 с.
335. Разработка научно-обоснованного экологического паспорта города Усть-Каменогорска (заключительный): отчет о НИР / Федоров Г.В. – Усть-Каменогорск: ТОО «Экосервис С», 2005. – Т. 1. – 304 с.
336. 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.
337. Рапута, В. Ф. Анализ данных наблюдений аэрозольного загрязнения снегового покрова в окрестностях Томска и Северска / В. Ф. Рапута, А. В. Таловская, В. В. Коковкин, Е. Г. Языков // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24. – №. 1. – С. 74–78.
338. Рапута, В. Ф. Методы численного анализа данных наблюдений регионального загрязнения территорий площадным источником / В. Ф. Рапута, С. Е. Олькин, И. К. Резникова // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – №. 6. – С. 558–562.
339. Рапута, В. Ф. Модели реконструкции полей длительных выпадений аэрозольных примесей / В. Ф. Рапута // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – № 6. – С. 506–511.
340. 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.
341. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 1991. – 860 с.
342. РД 52.04.667-2005. Руководящий документ. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. – 60 с.
343. Ревич, Б. А. К оценке влияния деятельности ТЭК на качество окружающей среды и здоровье населения / Б. А. Ревич // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 4. – С. 87–99.
344. Ревич, Б. А. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека: пособие по региональной экологической политике / Б. А. Ревич, С. Л. Авалиани, Г. И. Тихонова. – М.: Акрополь, ЦЭПР, 2004. – 268 с.
345. 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.
346. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н. С. Касимова. – М.: ИП Филимонов М.В., 2014. – 560 с.

347. Рихванов Л. П. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л. П. Рихванов, Е. Г. Языков, Ю. И. Сухих и др. – Томск: Издательств ИП Серкова Т.И., 2006. – 216 с.
348. Рихванов, Л. П. «Горячие частицы» – как радиационно опасный фактор в зоне действия предприятий ядерного топливного цикла / Л. П. Рихванов, Ю. Г. Зубков, А. А. Салеев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы Международной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 188–190.
349. Рихванов, Л. П. Общие и региональные проблемы радиозащиты / Л. П. Рихванов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1997. – 384 с.
350. Рихванов, Л. П. Особенности распределения химических элементов в талой воде ледника Большой Актру (Горный Алтай) / Л. П. Рихванов, Ю. В. Робертус, А. В. Таловская, Р. В. Любимов, А. Ю. Шатилов // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 97–103.
351. Рихванов, Л. П. Предварительные данные о геохимических особенностях ледниковых образований (на примере ледника Большой Актру в Горном Алтае) / Л. П. Рихванов, Ю. В. Робертус, А. В. Таловская, А. Ю. Шатилов // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы Международной конференции. – Семипалатинск, 2006. – Т. 2. – С. 388–395.
352. Рихванов, Л. П. Радиоактивные элементы в окружающей среде / Л. П. Рихванов, С. И. Арбузов, Н. В. Барановская и др. // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 128–136.
353. Рихванов, Л. П. Радиозащитная обстановка на территории бассейна р. Обь / Л. П. Рихванов // Обской вестник. – 1996. – № 1. – С. 60–69.
354. Рихванов, Л. П. Ртуть в почвах Томского региона / Л. П. Рихванов, Н. А. Осипова, Л. А. Петрова // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Международного симпозиума. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 200–202.
355. Рихванов, Л. П. Состояние компонентов природной среды Томской области по данным эколого-геохимического мониторинга и здоровье населения / Л. П. Рихванов, Е. Г. Языков, Н. В. Барановская и др. // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. – № 1. – С. 29–37.
356. Робертус, Ю. В. Новые данные о трансграничном переносе загрязняющих веществ на территорию Западного Алтая / Ю. В. Робертус // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 5. – С. 27–30.
357. Ровинский, Ф. Я. Фоновое содержание металлов в приземном слое атмосферы / Ф. Я. Ровинский, В. А. Петрухин // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Труды II Всесоюзного совещания. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 8–19.

358. Рогова, В. П. Минеральный состав твердофазных частиц аэрозолей в городах Южного Прибайкалья / В. П. Рогова, В. Я. Киселев, Д. А. Чурсин, Н. В. Федорова, В. А. Скворцов // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т. 15. – № 5–6. – С. 555–557.

359. Романенко, В. Д. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты / В. Д. Романенко, О. П. Окснюк, В. Н. Жукинский, Ф. В. Стольберг, В. И. Лаврик. – Киев Наука: Думка, 1990. – 256 с.

360. Росляков, Н. А. Экзогенное концентрирование радионуклидов в торфяниках и корях выветривания Новосибирской области / Н. А. Росляков, Ю. А. Калинин, Н. В. Рослякова и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II Международной конференции. – Томск: Изд-во «Тандем–Арт», 2004. – С. 522–526.

361. Рыжов, В. В. Первая регистрация периодических вариаций содержания ртути в природном углеводородном газе / В. В. Рыжов, И. Л. Машьянов, Н. А. Озерова // Ученые записки СПбГУ. – 1998. – Вып. 35 (433). – С. 309–316.

362. Рябов, В. А. Современный промышленный комплекс Кемеровской области / В. А. Рябов, О. Б. // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. – 2017. – № 3. – С. 41–46.

363. Савичев, О. Г. Атмосферные выпадения в бассейне средней Оби и их влияние на гидрохимический сток рек / О. Г. Савичев, А. О. Иванов // Известия РАН. Серия географическая. – 2010. – № 1. – С. 63–70.

364. Савичев, О. Г. Гидрология и геоэкология рек Томской области: учебное пособие / О. Г. Савичев, В. В. Паромов, М. В. Решетько. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2005 – 106 с.

365. Савко, А. Д. Глинистые породы как сырьё для получения металлов / А. Д. Савко // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2016. – №1. – С. 92–98.

366. Саэт, Ю. Е. Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение): автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук.: 04.00.13 / Саэт Юлий Ефимович. – М., 1982. – 53 с.

367. Саэт, Ю. Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду / Ю. Е. Саэт // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – С. 84–100.

368. Саэт, Ю. Е. Город как техногенная геохимическая провинция / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Р. С. Смирнова, Е. П. Сорокина // Проблемы микроэлементов в биологии: Труды IX Всесоюзной конференции. – Кишинев: Штиинца, 1981. – С. 42–45.

369. Сажин, Ю. В. Эоловый морфолитогенез и современный климат Евразии (ст. 2). Катастрофические эоловые процессы, динамические различия эоловых процессов современной

и ледниковой эпох) / А. Н. Сажин, Ю. И. Васильев, В. П. Чичагов, Г. А. Ларионов // Геоморфология. – 2013. – № 2. – С. 3–14.

370. Самуленков, Д. А. Лидарное зондирование аэрозольных загрязнений в атмосфере по маршруту Санкт-Петербург – Воронежская область–Белгородская область / Д. А. Самуленков, М. В. Сапунов, И. Н. Мельникова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17. – №3. – С. 223–230.

371. Сарнаев, С. И. Опыт по созданию эталона для определения урана методом f-радиографии / С. И. Сарнаев, Л. П. Рихванов // Радиографические методы исследования в радиогеохимии и смежных областях: Тезисы докладов 3-го Всесоюзного совещания. – Новосибирск: Изд-во ОИГТМ СО АН СССР, 1991. – 124 с.

372. Сафатов, А. С. Разработка методического и технического обеспечения регионального мониторинга биоаэрозолей в атмосферном воздухе: автореф. дис. д-ра тех. наук: 05.11.13 / Сафатов Александр Сергеевич. – Барнаул, 2011. – 47 с.

373. Сафонов, М. А. Накопление тяжелых металлов в системе «почва-дерево-гриб» в южном Приуралье / М. А. Сафонов, А. В. Шамраев, Ю. В. Дволучанская, Е. В. Башкатова // Вестник ОГУ. – 2013. – №6 (155)/июнь. – С. 127-123.

374. Свистов, П. Ф. Антропогенные осадки: происхождение, состав и свойства / П. Ф. Свистов // Экологическая химия. – 2011. – Т. 20. – № 2. – С. 105–113.

375. Селезнева, Е. С. Атмосферные аэрозоли / Е. С. Селезнева – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 175 с.

376. Сёмина, Т. А. Геохимические особенности снегового покрова г.Томска и его окрестностей / Т. А. Сёмина, А. О. Иванов // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Труды всероссийской гидрогеохимической конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2003. – С. 114–117.

377. Семиненко, А. С. Влияние цементной пыли на организм человека / А. С. Семиненко, Е. Н. Попов, Д. Ю. Малахов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 2. – С. 93–94.

378. Сидоренко, А. С. Оценка воздействия металлургических шлаков ООО "ЮМЗ" на состояние окружающей среды г. Юрги / А. С. Сидоренко, Ш. С. Нозирзода: науч. рук. Л. Г. Деменкова // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 3. – С. 311–315.

379. Сидоренко, М. В. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и снегового покрова водоохранных зон озер и малых рек Нижнего Новгорода / М. В. Сидоренко, В. П. Юнина // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2010. – № 5 (1). – С. 110–114.

380. Сидоренко, Ю. С. Эпидемиология рака легкого / Ю. С. Сидоренко, А. В. Чаклин, Т. В. Шелякин; под общ.ред. Д. Г. Заридзе. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1990. – 239 с.
381. Симоненков, Д. В. Химический состав антропогенного аэрозоля над промышленными центрами Сибири, Дальнего Востока и Казахстана: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.29 / Симоненков Денис Валентинович. – Томск, 2015. – 175 с.
382. Система Белого моря. Том II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. А. П. Лисицын. – М: Научный мир, 2012. – 784 с.
383. Систер, В. Г. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период / В. Г. Систер, В. Е. Корецкий. – М.: Центр МГУИЭ, 2004. – 159 с.
384. Ситникова, В. А. Оценка геоэкологического состояния компонентов окружающей среды на территории агломерации города Горно-Алтайска: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Ситникова Валентина Александровна. – Томск, 2018. – 169 с.
385. 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.
386. Смольянинов, С. И. Микроэлементы в верховом торфе Томской области / С. И. Смольянинов., В. К. Бернатонис, В. С. Архипов, Д. Ю. Балабаев // Исследование свойств и технологии добычи торфа. Сборник научных трудов. – Л.: Изд-во ВНИИП, 1990. – Вып. 65. – С. 15–21.
387. Соболев, И. С. О возможности изучения элементного состава снегового покрова при геохимическом картировании зон и областей внедрения глубинных флюидов (нефтегазопроисводческий аспект) / И. С. Соболев // Геология нефти и газа. – 2013. – № 1. – С. 68–77.
388. Соболева, Н. П. Ландшафтоведение: учебное пособие / Н. П. Соболева, Е. Г. Языков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 184 с.
389. Сокол, Э. В. Пирогенный метаморфизм / Э. В. Сокол и др.; [под ред. Г.Г. Лепезина]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 284 с.
390. Сокол, Э. В. 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.
391. 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.
392. Сорокина, О. И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан-Батора: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.23 / Сорокина Ольга Игоревна. – М., Изд-во МГУ, 2013. – 26 с.

393. Спурный, К. Аэрозоли / К. Спурный, Ч. Йех, Б. Седлачек, О. Шторох; [пер. с чешского Н.В. Рябова, К.Н. Стася]. – М.: Атомиздат, 1964. – 356 с.
394. Старовойтов, М. К. Типология городов: эволюция и многогранность подходов / М. К. Старовойтов, Л. Н. Медведева // Проблемы развития мегаполисов. – № 6(27). – 2008. – С. 71-75.
395. Стародымова, Д. П. Атмосферная поставка рассеянного осадочного вещества в Белое море и на его водосбор: дис. канд. геол.-минерал. наук: 25.00.28. – Москва, 2018. – 25 с.
396. Стримжа, Т. П. Оценка атмосферного воздуха города Красноярска по снеговому покрову / Т. П. Стримжа, М. В. Неустроева, О. Ю. Перфилова и др. – Красноярск: Вестник КГПУ им. В. П. Астафьева, 2012. – Вып. 3. – С. 319–327.
397. Судыко, А. Ф. Определение урана, тория, скандия и некоторых редкоземельных элементов в двадцати четырех стандартных образцах сравнения инструментальным нейтронно-активационным методом / А. Ф. Судыко // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы V Международной конференции. – Томск: СТТ, 2016. – С. 620–625.
398. Суходулов, А. П. Сравнительный анализ распределения компонентов выбросов алюминиевых заводов Сибири / А. П. Суходулов, Н. И. Янченко, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Экология и промышленность России. – 2018. – № 3 – С. 51–55.
399. Сухоруков, С. Ю. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине р. Енисей / Ф. В. Сухоруков, А. Г. Дегерменджи, В. М. Белолипецкий и др.; [науч. редакторы: акад. В. Ф. Шабалов, чл.-кор. РАН А. Г. Дегерменджи]. – Новосибирск: Изд-во РАН, филиал «Гео», 2004. – 286 с.
400. Сущенко, О. В. Отбор на провокационном фоне в искусственных популяциях *Drosophila melanogaster* / О. В. Сущенко, Е. В. Евдокимов // Генетика. – 1992. – Т. XXVIII. – №9. – С. 75-84.
401. Схема территориального планирования Красноярского края. – Том I. Потенциал комплексного развития территории. – Часть 2. – Санкт-Петербург, 2008.
402. Таловская, А. В. Динамика элементного состава снегового покрова на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации / А. В. Таловская, Е. А. Филимоненко, Е. Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – №. 6. – С. 491–495.
403. 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, Б. Д. Белан, Е. Г. Язиков, Д. А. Рычкова, С. С. Ильенок // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – №. 11. – С. 999–1005.
404. Таловская, А. В. Макроэлементный и минерально-фазовый состав пыли в зоне воздействия цементного завода по данным изучения снегового покрова (Кемеровская обл.) / А.



В. Таловская, Д. А. Володина, Е. Г. Язиков // Химия в интересах устойчивого развития. – 2019. – Т. 27. – № 2. – С. 201–210.

405. Таловская, А. В. Мониторинг потоков аэрозольных выпадений в фоновых районах Томской области / А. В. Таловская, Е. Г. Язиков, М. В. Панченко, В. С. Козлов // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – №. 6. – С. 517–523.

406. Таловская, А. В. Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях угольных и нефтяных котельных по состоянию снегового покрова (на примере Томской области) / А. В. Таловская, Е. Г. Язиков, Т. С. Шахова, Е. А. Филимоненко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 10. – С. 116–130.

407. Таловская, А. В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снегового покрова / А. В. Таловская, Е. Г. Язиков, Е. А. Филимоненко // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2014. – №. 5. – С. 408–417.

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

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

410. 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. Рапута, Е. А. Филимоненко, Е. Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26. – №. 8. – С. 642–646.

411. Танделов, Ю. П. Фтор в системе почва–растение / Ю. П. Танделов; [под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Красноярск, 2012. – 146 с.

412. Тас-оол, Л. Х. Геохимические аспекты загрязнения окружающей среды г. Кызыла пылевыми частицами дымовых выбросов / Л. Х. Тас-оол, Б. Г. Хомушку, С. А. Чупикова, Н. Н. Янчат // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 6. – 531–542.

413. Таций, Ю. Г. Экогеохимия ртути в зоне действия выбросов медеплавильного комбината «Карабашмедь» / Ю. Г. Таций, В. Н. Удачин, П. Г. Аминов // Геохимия. – 2017. – № 10. – С. 942–953.

414. Темиржанова, А. Е. Элементный состав твердой фазы снегового покрова малых населенных пунктов (на примере села Долонь Восточно-Казахстанской области, Республика

Казахстан) / А. Е. Темиржанова, М. Т. Дюсембаева, С. Н. Лукашенко, Е. Г. Языков, Е. З. Шакенов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 12. – С. 41–50.

415. Тентюков, М. П. Экогеохимия районов промышленного освоения Большеземельской тундры и Ямала: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Тентюков Михаил Пантелеймонович. – Томск, 2016. – 336 с.

416. Тигеев, А. А. Оценка пылевого загрязнения атмосферы наземными и дистанционными методами (на примере г. Тобольск) / А. А. Тигеев, Н. В. Аксёнов, Д. В. Московченко, Р. Ю. Пожитков // Географический вестник. – 2021. – №2 (57). – С. 121–134.

417. Титаева, Н.А. Геохимия изотопов радиоактивных элементов (U, Th, Ra): автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.09 / Титаева Наталья Алексеевна. – М., 2002. – 91 с.

418. Титкова, Т. Б. Короткопериодная изменчивость сроков залегания снежного покрова по данным MODIS на севере Евразии в условиях современного климата / Т. Б. Титкова, Л. М. Китаев, В. В. Виноградова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 5. – С. 223–238.

419. Тупицына, Е. М. Изучение природы соматического мозаицизма *Drosophila melanogaster* / Е. М. Тупицына // Генетика. – 1965. – № 1. – С. 123–129.

420. Удачин, В. Н. Геохимия горно-промышленного техногенеза Южного Урала / В. Н. Удачин, П. Г. Аминов, К. А. Филлипова. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. – 252 с.

421. Удачин, В. Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.09 / Удачин Валерий Николаевич. – Миасс, 2012. – 352 с.

422. Украинцев, А. В. Особенности миграции химических элементов в снежном покрове и поверхностных водах в районах лесных пожаров центральной Бурятии: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.09 / Украинцев Александр Викторович. – Улан-Удэ, 2017. – 141 с.

423. Усманова, Т. В. Оценка вклада угольных шахт в трансформацию состава природных сред (на примере шахта «Хакасская») / Т. В. Усманова, А. В. Таловская, Т. А. Монголина, И. П. Планов // Вестник науки Сибири. Серия Науки о Земле. – 2012. – № 4 (5). – С. 4–16.

424. Федорова, Н. В. Оценка состава твердых фаз аэрозолей в природно-технических системах и перспективные направления утилизации продуктов их накопления в городах Прибайкалья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Федорова Наталья Владимировна. – Иркутск, 2008. – 18 с.

425. Фекличев, В. Г. Классификация производств и процессов, поставляющих в природу техногенные и условно техногенные минералы / В. Г. Фекличев // Проблемы экологической минералогии и геохимии: Тезисы докладов годовичного собрания Минералогического общества РАН. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 1997. – С. 27–28.

426. Фетт, В. Атмосферная пыль / В. Фетт – М.: ИЛ, 1961. – 336 с.
427. Филимоненко, Е. А. Эколого-геохимическая обстановка в районах расположения объектов теплоэнергетики по данным изучения нерастворимой и растворимой фаз снега (на примере Томской области): дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Филимоненко Екатерина Анатольевна. – Томск, 2015. – 152 с.
428. Филимоненко, Е. А. Динамика распределения ртути в снеговом покрове в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска / Е. А. Филимоненко, Е. Е. Ляпина, Н. А. Осипова, А. В. Таловская // Десятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Тезисы Всероссийской конференции. – Томск: Изд-во Аграф-Пресс, 2013. – С. 275–276.
429. Филимоненко, Е. А. Минералогия пылевых аэрозолей в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска / Е. А. Филимоненко, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков, Ю. В. Чумак, С. С. Ильенок // Фундаментальные исследования. – 2013. – Т. 3. – №. 8. – С. 760–765.
430. Филимонова, Л. М. Оценка атмосферного загрязнения методами геохимической съемки снегового покрова в районе алюминиевого производства / Л. М. Филимонова // Современные наукоемкие технологии, 2014. – № 7–2. – С. 47–49.
431. Филимонова, Л. М. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова / Л. М. Филимонова, А. В. Паршин, В. А. Бычинский // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 10. – С. 75–84.
432. Филимонова, Л. М. Исследование геоэкологических особенностей снегового покрова в зоне влияния алюминиевого завода с использованием метода физико-химического моделирования: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Филимонова Людмила Михайловна. – Иркутск, 2017. – 134 с.
433. Фирсова, Н. В. Исследование влияния речной сети на ветровой режим городов (на примере городов Воронежской области) / Р. В. Фирсова, О. В. Клепиков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009. – № 11(25). – С. 16–23.
434. Флеров, Г. Н. Радиография минералов, горных пород и руд / Г. Н. Флеров, И. Г. Берзина. – М.: Атомиздат, 1979. – 224 с.
435. 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.
436. Фукс, Н. А. Механика аэрозолей / Н. А. Фукс. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 351 с.
437. Хвостов, И. В. Элементный состав аэрозоля, накапливаемого в снеговом покрове Алтайского края: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Хвостов Илья Владимирович. – Барнаул, 2007. – 18 с.

438. Хлебопрос, Р. Г. Красноярск. Экологические очерки: монография / Р. Г. Хлебопрос, О. В. Тасейко, Ю. Д. Иванова, С. В. Михайлюта. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 130 с.

439. Холодов, А. С. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферы малых и средних населенных пунктов Приморского края микроразмерными частицами: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Холодов Алексей Сергеевич. – Владивосток, 2019. – 23 с.

440. Холодова, М. С. Особенности минерально-вещественного состава твердофазных выпадений снегового покрова территории г. Свирска / М. С. Холодова, М.В. Пастухов, В. И. Полетаева // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. – 2016 – № 4 (57). – С. 109–118.

441. Холодова, М. С. Пылевая нагрузка и состав атмосферных выпадений в Шелеховском промышленном районе (2012 г.) / М. С. Холодова // Эколого-географические проблемы регионов России: Материалы VII всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Самара, 2016. – С. 353–355.

442. Цемент и известь / Под ред. П. Кривенко. – Киев, 2008. – 480 с.

443. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения – как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л. П. Рихванов, С. С. Кропанин, С. А. Бабенко, А. И. Соловьев, В. М. Советов, Т. Ю. Усова, М. А. Полякова. – Кемерово: ООО «Сарс», 2001. – 214 с.

444. Черкезьян, В. О. Изучение состава и распределения Чернобыльских «горячих» частиц / В. О. Черкезьян, Л. Л. Кашкаров, Т. В. Шалаева, П. А. Коровайков // Геохимия. – 1994. – № 2. – С. 252-261.

445. Черненькая, Е. В. Динамика изменения элементного состава природной среды по данным изучения гербарных и современных сборов растений юга Сибири: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Черненькая Елена Владимировна. – Томск, 2016. – 262 с.

446. Чесноков, Б. В. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза) / Б. В. Чесноков, В. П. Щербакова. – М.: Наука, 1991. – 152 с.

447. Чефранов, И. П. Исследование динамики аэрозольных загрязнений снегового покрова промышленного города (на примере г. Барнаула): автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.36 / Чефранов Илья Павлович. – Барнаул, 2006. – 19 с.

448. Чугуевский, А. В. Формы нахождения и подвижность техногенных гамма-излучающих радионуклидов в пойме реки Енисей: ближняя зона влияния Красноярского ГХК: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.09 / Чугуевский Алексей Викторович. – Новосибирск, 2019. – 23 с.

449. Шаймарданова, Б. Х. Биоиндикация урбоэкосистемы г. Павлодара по содержанию химических элементов в золе листвы тополя черного *Populus nigra L.* / Б. Х. Шаймарданова, Г. Е.

Асылбекова, Н. В. Барановская, А. Б. Бигалиев, Н. П. Корогод // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 338. – С. 212–216.

450. Шайхиев, И. Ф. Эколого-геохимическое состояние компонентов природной среды Бакчарского района на территории предполагаемого освоения ресурсов железных руд: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Шайхиев Ильдар Рафаилович. – Томск, 2017. – 22 с.

451. 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.

452. Шамолина, Э. П. Некоторые сведения о микрофлоре подземных вод Советского нефтяного месторождения Томской области / Э. П. Шамолина, А. Д. Назаров // Известия Томского политехнического института. – 1975. – Т. 237. – С. 59–62.

453. Шатилов, А. Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика атмосферных выпадений на территории Обского бассейна: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Шатилов Алексей Юрьевич. – Томск, 2001. – 24 с.

454. Шахова, Т. С. Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снегового покрова (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар): дис. ... канд. геол.-минерал. наук 25.00.36 / Шахова Татьяна Сергеевна. – Томск, 2018. – 192 с.

455. Шварцев, С. Л. Эколого-геохимическое состояние речных вод Средней Оби / С. Л. Шварцев, О. Г. Савичев, Г. Г. Вертман, Р. Ф. Зарубина, Н. Г. Наливайко, Н. Г. Трифонова, Ю. П. Туров, Л. Ф. Фризе, В. В. Янковский // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23. – №. 6. – С. 723–731.

456. Шевченко, В. П. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований / В. П. Шевченко, А. П. Лисицын, А. А. Виноградова [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2000. – № 6–7. – С. 551–576.

457. Шевченко, В. П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике / Шевченко В. П. – М.: Наука, 2006. – 226 с.

458. Шевченко, В. П. Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби / В. П. Шевченко, С. Н. Воробьев, С. Н. Кирпотин, И. В. Крицков, Р. М. Манасыпов, О. С. Покровский, Н. В. Политова // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 28. – № 06. – С. 499–504.

459. Шевченко, В. П. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на европейском севере России в желтый цвет (март 2008 г.) / В. П. Шевченко, В. Б. Коробов, А. П. Лисицын, А. С. Алешинская, О. Ю. Богданова, Н. В. Горюнова, И. В. Грищенко, О. М. Дара, Н. Н. Завернина, Е. И. Куртеева, Е. А. Новичкова, О. С. Покровский, Ф. В. Сапожников // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 431. – № 5. – С. 675–679.

460. Шевченко, В. П. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском севере России в желтый цвет (март 2008 г.) / В. П. Шевченко, В. Б. Коробов, А. П. Лисицын, А. С. Алешинская, О. Ю. Богданова и др. // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 431. – № 5. – С. 675–679.
461. Шевченко, В. П. Элементный и органический углерод в атмосферном аэрозоле над северо-западным побережьем кандалакшского залива Белого моря / В. П. Шевченко, Д. П. Стародымова, А. А. Виноградова, А. П. Лисицын и др. // Доклады академии наук. – 2015. – Т. 461. – № 1. – С. 70–74.
462. Шестаков, Ю. Г. Математические методы в геологии / Ю. Г. Шестаков. – Красноярск: изд-во Красноярского университета, 1988. – 208 с.
463. Шор, Г. М. Нетрадиционное гидрогенное оруденение металлов платиновой группы в чехле Западно-Сибирской платформы / Г. М. Шор, Э. А. Ланда, Л. Г. Гусинова и др. // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в. – М.: Геоинформмарк, 1999. – Т. 3. – Кн. 1, 2. – С. 345–352.
464. Шпирт, М. Я. Особенности накопления ртути в нефтях, углях и продуктах их переработки / М. Я. Шпирт, С. А. Пунанова // Химия твердого топлива. – 2011. – № 5. – С. 42-49.
465. Щербатов, А. Ф. Мониторинг загрязнения снежного покрова в районе Искитимского цементного завода / А. Ф. Щербатов, В. Ф. Рапута, В. В. Турбинский, В. А. Хмелёв, С. Е. Олькин, Т. В. Ярославцева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2014. – Т. 1. – С. 163-168.
466. Щербатов, А. Ф. Оценка загрязнения атмосферного воздуха пылью по данным снегосъёмки на основе реконструкции полей выпадений / А. Ф. Щербатов, В. Ф. Рапута, В. В. Турбинский, Т. В. Ярославцева // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 2. – С. 42-47.
467. Щербов, Б. Л. Лесные пожары и их последствия / Б. Л. Щербов, Е. В. Лазарева, И. С. Журкова. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. – 154 с.
468. Эйрих, А. Н. Изотопный состав атмосферных осадков и снежного покрова в Западной Сибири / А. Н. Эйрих, Н. С. Малыгина, Т. С. Папина // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: химия и климат: Материалы III Байкальской международной научной конференции при поддержке ИЮПАК. – Изд-во ООО «Репроцентр А1», 2020. – С. 141–144.
469. Экогеохимия городских ландшафтов / ред. Н. С. Касимов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.
470. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2005 году / ред. А.М. Адам / Управление охраны окружающей среды и ОГУ «Облкомприрода» Администрации Томской области. – Томск: Графика, 2006. – 148 с.
471. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2008 году / ред. А. М. Адам // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской

области, ОГУ «Облкомприрода» Администрации Томской области. – Томск: Издательство «Оптимум», 2009. – 144 с.

472. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2007 году / ред. А. М. Адам // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГУ «Облкомприрода» Администрации Томской области – Томск: Графика, 2008. – 148 с.

473. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2013 году / ред. А. М. Адам // Управление охраны окружающей среды и ОГУ «Облкомприрода» Администрации Томской области. – Томск: Дельтаплан, 2014. – 194 с.

474. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2010 году / ред. А. М. Адам // Управление охраны окружающей среды и ОГУ «Облкомприрода» Адм. Томской области. – Томск: Дельтаплан, 2011. – 148 с.

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

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

477. Юнге, Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы / Х. Юнге – М.: Изд-во «Мир», 1965. – 425 с.

478. Юргенсон, Г. А. Редкоземельные элементы цериевой подгруппы в глинах и промывных водных растворах продуктивных жил Шерловой Горы / Г. А. Юргенсон, В. Н. Яковлева // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2017. – № 12. – С.51–63.

479. 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.

480. Ягольницер, М. А. Оценка промышленной эмиссии ртути в Сибири / М. А. Ягольницер, В. М. Соколов, А. Д. Рябцев и др // Химия в интересах устойчивого развития. – 1995. – № 3. – С. 23–35.

481. 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.

482. Язиков, Е. Г. Минералогия техногенных образований: учебное пособие / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская, Л. В. Жорняк. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.

483. Язиков, Е. Г. Радиоэкологическая оценка территории на основе изучения атмосферных пылевых выпадений методом осколочной радиографии / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2013. – № 5. – С. 57–61.

484. Язиков, Е. Г. Разработка методологии комплексной эколого-геохимической оценки состояния природной среды (на примере объектов юга Западной Сибири) / Е. Г. Язиков // Известия Томского политехнического университета. – 2001. – Т. 304. – Вып. 1. – С. 325–336.

485. 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: Материалы Международной конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 1996. – С. 312–316.

486. Язиков, Е. Г. Состав техногенных составляющих в снеговом покрове по данным микрорентгеноспектрального анализа / Е. Г. Язиков, А. Ю. Шатилов, Л. П. Рихванов // Вестник Томского государственного университета. Проблемы геологии и географии Сибири. – 2003. – Приложение. № 3 (V). – С. 237–239.

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

488. Якуцени, С. П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков / С. П. Якуцени. – Недра, 2005. – 372 с.

489. Ялалтдинова, А. Р. Изучение содержания редких, редкоземельных, радиоактивных элементов в пылеаэрозолях в зоне воздействия северной промышленной зоны г. Усть-Каменогорска (Республика Казахстан) / А. Р. Ялалтдинова; науч. рук. А. В. Таловская // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – Т. 2. – С. 635–637.

490. Ялалтдинова, А. Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Ялалтдинова Альбина Рашидовна. – Томск, 2015. – 172 с.

491. Янин, Е. П. Введение в экологическую геохимию / Е. П. Янин – М.: ИМГРЭ, 1999. – 68 с.

492. Янин, Е. П. К истории эколого-геохимических исследований в ИМГРЭ / Е. П. Янин // Геохимические исследования городских агломераций. – М.: ИМГРЭ, 1998. – С. 158–165.

493. Янин, Е. П. Принципы, методы и задачи эколого-геохимических исследований в системе государственного мониторинга геологической среды / Е. П. Янин // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – 2009. – № 5. – С. 69–75.



494. Янин, Е. П. Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка) / Е. П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 2003. 82 с.
495. Янин, Е. П. Ртуть в окружающей среде промышленного города / Е. П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
496. Янин, Е. П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий / Е. П. Янин // Экологическая экспертиза, 2002. – № 4. – С. 10–29.
497. Янин, Е. П. У истоков экологической геохимии (к 85-летию со дня рождения Ю.Е. Саета) / Е. П. Янин // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 10. – С. 47–54.
498. Янин, Е. П. Эмиссия ртути в атмосферу при производстве цемента в России / Е. П. Янин – М.: ИМГРЭ, 2004. – 20 с.
499. Янкович, Е. П. Оценка индивидуального канцерогенного риска для здоровья населения Томска по данным геохимического состава пылеаэрозольных выпадений / Е. П. Янкович, Н. А. Осипова, Е. Г. Языков, А. В. Таловская // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2011. – № 5. – С. 67–74.
500. Янченко, Н. И. Особенности химического состава снежного покрова и атмосферных осадков в городе Братске / Н. И. Янченко, О. Л. Яскина // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 3. – С. 27–34.
501. Янченко, Н. И. Практика отбора проб снежного покрова для химического анализа / Н. И. Янченко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 12. – С. 94–104.
502. Янченко, Н. И. Распределение некоторых элементов в снежном покрове в г. Братске / Н. И. Янченко, А.Н. Баранов, Е. П. Чебыкин, В. А. Ершов, Е. Н. Воднева // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 4. – С. 164–169.
503. Янченко, Н. И. Управление экологической безопасностью промышленных производств на основе исследования распределения компонентов выбросов в атмосферных выпадениях: дис. ... д-ра техн. наук: 03.02.08 / Янченко Наталья Ивановна. – Иркутск, 2012. – 320 с.
504. Яркова, П. В. Оценка мутагенности нефти (месторождение Западно-Салымское) на *Drosophila melanogaster* // Экология России и сопредельных территорий. Экологический катализ: Материалы VII Международной экологической студенческой конференции. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного университета, 2001. – С. 248–249.
505. Яхнин, Э. Я. Сравнительный анализ данных о составе атмосферных осадков и снежного покрова на территории Ленинградской области и юго-восточной Финляндии и уточнение параметров атмосферного выпадения тяжелых металлов / Э. Я. Яхнин, О. В. Томилина, В. А. Чекушин, Р. Салминен // Экологическая химия. – 2003. – № 12. – С. 1–12.

506. Яценко, И. Г. Тяжелые ванадиевоносные нефти России / И. Г. Яценко // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – №. 1. – С.105–111.
507. Adil'Bayeva, T. E. Estimation of aerotechnical pollution in the vicinity of the thermal power plant (Трр-3) in Karaganda according to snow survey (Republic of Kazakhstan) / T. E. Adil'Bayeva, A. V. Talovskaya, E. G. Yazikov // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2017. – V. 4 (424). – Pp. 237–247.
508. Aerosol chemical processes in the environment / Editor by K. R. Spurny. – Boca Raton: CRC Press, 2000. – 600 p.
509. Antonovich, V. V. Station for the comprehensive monitoring of the atmosphere at Fonovaya Observatory, West Siberia: Current status and future needs / V. V. Antonovich, P.N. Antokhin, M. Y. Arshinov, B. D. Belan et al. // Proceedings of SPIE. 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. – 2018. – V. 10833. – Pp 1–6.
510. Arbuzov, S. I. Comments on the geochemistry of rare-earth elements (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) with examples from coals of north Asia (Siberia, Russian far East, North China, Mongolia, and Kazakhstan) / S. I. Arbuzov, S. S. Iljenok, A. M. Mazhibor, et al. // International Journal of Coal Geology. – 2019. – V. 206. – Pp. 106–120.
511. Arbuzov, S. I. Modes of occurrence of scandium in coals and peats (A review) / S. I. Arbuzov, S. G. Maslov, S. S. Iljenok // Solid Fuel Chemistry. – 2015. – V. 49. – № 3. – Pp. 167–182.
512. Arbuzov, S. I. Nature of tonsteins in the Azeisk deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia) / S. I. Arbuzov, A. M. Mezhibor, D. A. Spears, et al. // International Journal of Coal Geology. – 2016. – 153(1). – Pp. 99–111.
513. Arimoto, R. Characterization of Asian Dust during ACE-Asia / R. Arimoto, Y. J. Kim, Y. P. Kim, P. K. Quinn et al. // Global and Planetary Change. – 2006 – № 52. – Pp. 23–56.
514. Baltrėnaitė, 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. Baltrėnaitė, P. Baltrėnas, A. Lietuvninkas et al. // Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – V. 21. – № 1. – Pp. 299–313.
515. Baron, P. A. Aerosol Measurement / P. A. Baron, K. Willeke. – New York: Wiley and Sons, 2001. – 1131 p.
516. 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. – Pp. 251–266.
517. 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. – Pp. 6777–6789.

518. Bozlaker, A. Insights into PM 10 sources in Houston, Texas: role of petroleum refineries in enriching lanthanoid metals during episodic emission events / A. Bozlaker, B. Buzcu-Güven, M. P. Fraser, S. Chellam // *Atmospheric Environment*. – 2013. – V. 69. – Pp. 109-117.

519. Brzezinska-Paudyn, A. Multielement analysis and mercury speciation in atmospheric samples from the Toronto area / A. Brzezinska-Paudyn, J.C Van Loon. M.R Balicki and // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 1986. – № 27. – Pp. 45–56.

520. 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. – Pp. 1266–1276.

521. Burnett, R. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter / R. Burnett, H. Chen, M. Szyszkowicz, N. Fann et al. // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* – 2018. – № 115. – Pp. 9592–9597.

522. 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. – Pp. 1–28.

523. Celo, V. Concentration and source origin of lanthanoids in the Canadian atmospheric particulate matter: a case study / V. Celo, E. Dabek-Zlotorzynska, J. Zhao, D. Bowman // *Atmospheric Pollution Research*. – 2012. – V. 3. – № 3. – Pp. 270-278.

524. Clacher, A. P. Development and application of analytical methods for environmental radioactivity: PhD Thesis / A. P. Clacher. – University of Manchester, UK, 1995. – 150 p.

525. Davidson, C. I. The deposition of particles and gases to ice sheets / C. I. Davidson, M. H. Bergin, H.D.Kuhn; [ed. E. R. Wolff, R. C. Bales]. – Berlin: Springer. – 1996. – Pp. 275–306.

526. Dockery, D. W. Acute respiratory effects of particulate air pollution / D. W. Dockery, C. A. Pope // *Annual Reviewer Public Health*. – 1994. – № 15. – Pp. 107–132.

527. Dong, Z-W. Characteristics of fly ash particles deposition in the snowpack of Laohugou Glacier No.12 in western Qilian Mountains, China. *Huanjing Kexue* / Z-W Dong, D-H Qin, X Qin, et al. // *Environmet Science*. – 2014. V. 35(2). – Pp. 504-512.

528. Duan, J. C. Size distributions and sources of elements in particulate matter at curbside, urban and rural sites in Beijing / J. C Duan, J. H Tan, S. L Wang, J. M Hao, F .H Chai // *Jornal Environmental Science*. – 2012. – V. 24. – № 1. – Pp. 87–94.

529. Elík, A. Monitoring of heavy metals in urban snow as indicator of atmosphere pollution / A. Elík // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. – 2002. – V. 82. – № 1. – Pp. 37–45.

530. EPA. Particulate Matter National Ambient Air Quality Standards: Scope and Methods Plan for Urban Visibility Impact Assessment. Air Quality Planning and Standards. – 2009. – Research Triangle Park, NC.
531. 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. – Pp. 91–108.
532. 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. – Pp. 24–50.
533. 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. – Pp. 1173–1179.
534. Gaberšek, M. Meltwater chemistry and characteristics of particulate matter deposited in snow as indicators of anthropogenic influences in an urban area / M. Gaberšek, M. Gosar // *Environ Geochem Health*. – 2021. – № 43. – Pp. 2583–2595.
535. Galitskaya, I. V. Snow-cover contamination in urban territories (Lefortovo district Moscow) / I.V Galitskaya, N. A Rumyantseva // *Annals Glaciology*. – 2012. – V. 53 (61). – Pp. 23–26.
536. Gao, Y. Characteristics of the trace elements and arsenic, iodine and bromine species in snow in east-central China / Y. Gao, C. Yang, J. Maa, M. Yinc // *Atmospheric Environment*. – 2018. – V. 174. – Pp. 43–53.
537. Golokhvast, K. S. Galvanic manufacturing in the cities of Russia: potential source of ambient nanoparticles / K. S Golokhvast, A. A. Shvedova // *PLOS ONE*. – 2014. – № 9(10). – Pp. 110573–110585.
538. Goodarzi, F. Morphology and chemistry of fine particles emitted from a Canadian coal-fired power plant/ F. Goodarzi // *Fuel*. – 2006. – 85(3). – Pp. 273–280.
539. Grebenshchikova, V. I. Chemical composition of snow and soil in Svirsk city (Irkutsk Region, Pribaikal'e) / V. I. Grebenshchikova, N. V. Efimova, A. A. Doroshkov // *Environmental Earth Sciences*. – 2017. – V. 76 (20). – Pp. 712.
540. Gregurek, D. Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia / D. Gregurek, F. Melcher, V. A. Pavlov, et al. // *Mineralogy and Petrology*. – 1999. – V. 65(1-2). – Pp. 87–111.
541. Gustaytis, M. A. Hg in snow cover and snowmelt waters in high-sulfide tailing regions (Ursk tailing dump site, Kemerovo region, Russia) / M. A Gustaytis, I. N. Myagkaya, A. S Chumbaev // *Chemosphere*. – 2018. – V. 202. – Pp. 446–459.

542. Hopke, P. K. Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter / P. K. Hopke, Q. Dai, L. Li, Y. Feng // *Science of the Total Environment*. – 2020. – № 740. – Pp. 140091–140098.
543. Hu, Z. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update / Z. Hu, S. Gao // *Chemical Geology*. – 2008. – V. 253 (3-4). – Pp. 205–221.
544. Huang, J. New insights into particle-bound trace elements in surface snow, Eastern Tien Shan, China / J. Huang, G. Wu, X. Zhang, C. Zhang // *Environmental Pollution*. – 2020. – V. 267. – Pp. 115272–1152732.
545. Huang, K. Russian anthropogenic black carbon: emission reconstruction and Arctic black carbon simulation / K. Huang, J. S. Fu, V. Y. Prikhodko, et al. // *Journal Geophysical Research Atmosphere*. – 2015. – № 120 (21). – Pp. 11306–11333.
546. Jaafari, J. Associations between short term exposure to ambient particulate matter from dust storm and anthropogenic sources and inflammatory biomarkers in healthy young adults / J. Jaafari, K. Naddafi, M. Yunesian, R. Nabizadeh., et al. // *Science of the Total Environment*. – 2021. – № 761 – Pp. 144503–144517.
547. Jyethi, D. S. Air Quality: Global and Regional Emissions of Particulate Matter, SO<sub>x</sub>, and NO<sub>x</sub>. Chapter / D. S. Jyethi // *Book: Plant Responses to Air Pollution; [editor by U. Kulshrestha, P. Saxena]*. – Singapore: Springer Science+Business Media, 2016. – Pp. 5–19.
548. Kaasik, M. Elemental and base anions deposition in the snow cover of north-eastern Estonia / M. Kaasik, R. Rõõm, O. Røyset, M. Vadset, Ü. Sõukand, K. Tõugu, H. Kaasik // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 2000. – V. 121. – Pp. 349–366.
549. Kadowaki, S. Characterization of urban aerosols in the Nagoya Region // *Aerosol chemical processes in the environment / eddition by K. R. Spurny*. – Boca Raton: CRC Press, 2000. – Pp. 379–404.
550. Kaisarevic, S. Detection of dioxin-like contaminants in soil from the area of oil refineries in Vojvodina region of Serbia / S. Kaisarevic, N. Andric, S. Bobic, J. Trickovic, et al. // *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. – 2007. – V. 79. – №. 4. – P. 422–426.
551. Karagulian, F. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): a systematic review of local source contributions at global level / F Karagulian, C. A Belis, C. F. Dora, A. M Prüss-Ustün, S. Bonjour, H. Adair-Rohani, M. Amann // *Atmospheric Environment*. – 2015. – V. 120. – Pp. 475–483.
552. Kawamura, K. Molecular distributions and isotopic compositions of organic aerosols over the western North Atlantic: Dicarboxylic acids, related compounds, sugars, and secondary organic aerosol tracers / K. Kawamura, M. Hoque Mir Md, T. S. Bates, P. K. Quinn // *Organic Geochemistry*. – 2017. – 113. – Pp. 229–238.

553. Kępski, D. Progressing pollutant elution from snowpack and evolution of its physicochemical properties during melting period—a case study from the Sudetes, Poland / D. Kępski, M. Błaś, M. Sobik, Ż. Polkowska, K. Grudzińska // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 2016. – V. 227. – Pp. 112–120.
554. Kiehl, J. T. Modeling geographical and seasonal forcing due to aerosols. In *Aerosol Forcing of Climate* / J. T. Kiehl, H. Rodhe; [ed. by R.J. Charlson and J. Heitzenberg]. – Wiley, New York. – 1995. – Pp. 281–296.
555. Koukouzas, N. K. Mineralogy and geochemistry of Greek and Chinese coal fly ash / N. K. Koukouzas, R. Zeng, V. Perdikatsis, et al. // *Fuel*. – 2006. – V. 85. – Pp. 2301–2309.
556. Kholodov, A. The influence of cement plant on the atmospheric pollution with microscale particulate matter in Spassk-Dalny town (Primorsky region, Russia) – particle size analysis / A. Kholodov, S. Ugay, V. Drozd, S. Gulkova, K. Golokhvast // *V International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017*. – 2017. – Pp. 1017-1022.
557. Kozlov, V. S. Diurnal variations of the submicron aerosol and black carbon in the nearground layer / V. S. Kozlov, M. V. Panchenko, E. Yausheva // *Atmospheric Ocean Optics*. – 2011. – № 24. – Pp. 30–38.
558. Krastinyte, V. Analysis of snow-cap pollution for air quality assessment in the vicinity of an oil refinery / V. Krastinyte, E. Baltreinaite, A. Lietuvninkas // *Environmental Technology*. – 2013. – V. 34 (6). – Pp. 757–763.
559. Kristiansson, K. Geogas prospecting: a new tool in the search for concealed mineralisations / K. Kristiansson, L. Malmqvist, W. Persson // *Endeavour, New Series*. – 1990. – V. 14. – Pp. 28–33.
560. 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. – Pp. 243–254.
561. Lee, Y.M. Effects of PM10 on mortality in pure COPD and asthma-COPD overlap: difference in exposure duration, gender, and smoking status / Y. M. Lee, J. H. Lee, H. C. Kim, E. Ha // *Sci. Rep.* – 2020. – № 10. – Pp. 2402–2414.
562. Levshina, S. Petroleum products and phenols in snow cover in Khabarovsk, Southern Russian Far East / S. Levshina // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 2012. – V. 223. – Pp. 3553–3563.
563. Li, X. Spatial distribution and potential sources of trace metals in insoluble particles of snow from Urumqi, China / X. Li, F. Jiang, S. Wang, M. Turdi, Z. Zhang // *Environmental Monitoring Assessment*. – 2015. – V. 187. – Pp. 4144
564. Lind, O. C. Characterisation of radioactive particles in the environment using advanced techniques: PhD Thesis / O. C. Lind. – Norwegian University of life science, Norway. – 2006.

565. Marsaya, C. M. Concentrations, provenance and flux of aerosol trace elements during US GEOTRACES Western Arctic cruise GN01 / C. M. Marsaya, D. Kadkob, W. M. Landingc, P.L Mortond, B. A. Summersc, C. S. Buck // *Chemical Geology*. – 2018. – № 502. – Pp. 1–14.

566. Marx, S. K. Long-distance transport of urban and industrial metals and their incorporation into the environment: sources, transport pathways and historical trends / S. K. Marx, H. A. McGowan // *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts* / Ed. by F. Zereini, C. L. S. Wiseman. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. – Pp. 103–124.

567. Mazur, D. M. GC-HRMS with complementary ionization techniques for target and non-target screening for chemical exposure: expanding the insights of the air pollution markers in Moscow snow / D. M. Mazur, E. A. Detenchuk, A. A. Sosnova, V. B. Artaev, A. T. Lebedev // *Science of the Total Environment*. – 2021. – V. 761. – Pp. 144506–144510.

568. McNeill, V. F. Atmospheric aerosols: clouds, chemistry, and climate / V. F. McNeill // *Annual review chemical and biomolecular engineering*. – 2017. – V. 8. – Pp. 427–444.

569. Megacities: Emissions, urban, regional and Global Atmospheric POLLution and climate effects, and Integrated tools for assessment and mitigation (MEGAPOLI) // MEGAPOLI project final report, 2011. – 63 p.

570. Mhawish, A. Aerosol characteristics from earth observation systems: A comprehensive investigation over South Asia (2000–2019) / A. Mhawish, M. Sorek-Hamer, R Chatfield., T. Banerjee, et al. // *Remote Sensing of Environment*. – 2021 – V. 259. – P. 112410.

571. Miler, M. Application of SEM/EDS to environmental geochemistry of heavy metals/ M. Miler, M. Gosar // *Geologija*. – 2009. – V. 52 (1). – Pp. 69–78.

572. Miler, M. Chemical and morphological characteristics of solid metal-bearing phases deposited in snow and stream sediment as indicators of their origin/ M. Miler, M. Gosar // *Environmental Science Pollution Research*. – 2015. – V. 22 (3). – Pp. 1906–1918.

573. Mitchell, R. S. Mineralogy of ash of some American coals: variations with temperature and source / R. S. Mitchell, H. J. Gluskoter // *Fuel*. – 1976. – V. 55. – Pp. 90–96.

574. Moreno, T. Identification of FCC refinery atmospheric pollution events using lanthanoid-and vanadium-bearing aerosols / T. Moreno, X. Querol, A. Alastuey, W. Gibbons // *Atmospheric Environment*. – 2008. – V. 42. – № 34. – Pp. 7851–7861.

575. Mugica, V. Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM10 in Mexico City .during 1996–1998 / V. Mugica, M. Maubert, M. Torres, J. Munoz, E. Rico // *Journal of Aerosol science*. – 2002. – V. 33. – Pp. 91–102.

576. Nelson, P. F. Atmospheric mercury emissions in Australia from anthropogenic, natural and recycled sources / P. F. Nelson, A. L. Morrison, H. J. Malfroy, M. Cope, S. Lee, M. L. Hibberd, C. P. (Mick) Meyer, Jh. McGregor // *Atmospheric Environment*. – 2012. – V. 62. – Pp. 291–302.

577. Nelson, S. J. Mass balances of mercury and nitrogen in burned and unburned forested watersheds at Acadia National Park, Maine, USA / S. J. Nelson, K. B. Johnson, J. S. Kahl, T. A. Haines, I. J. Fernandez // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2007. – V. 126. – Pp. 69–80.

578. Newman, L. S. *Clinical pulmonary toxicology* / L. S. Newman // *Clinical Environmental Health and Exposures*. – 2nd edn.; [eds. J. B. Sullivan Jr., G. Krieger]. – Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 2001. – Pp. 206–223.

579. Odabasi, M. Investigation of spatial and historical variations of air pollution around an industrial region using trace and macro elements in tree components / M. Odabasi, D. Tolunay, M. Kara, E. Ozgunerge Falay, G. Tuna, H. Altiok, Y. Dumanoglu, A. Bayram, T. Elbir // *Science of the Total Environment*. – 2016. – V. 550. – Pp. 1010-1021.

580. Osada, K. Deposition processes of ionic constituents to snow cover / K. Osada, Y. Shido, H. Iida et al. // *Atmospheric Environment*. – 2010. – V. 44. – № 3. – Pp. 347–353.

581. Osipova, N. A. Geochemical approach to human health risk assessment of inhaled trace elements in the vicinity of industrial enterprises in Tomsk, Russia / N. A. Osipova, E. A. Filimonenko, A. V. Talovskaya, E. G. Yazikov // *Human and Ecological Risk Assessment*. – 2015. – V. 21. – Pp. 1664–1685.

582. Osipova, N. A. Mercury in Coals and Soils from Coal-Mining Regions / N. A. Osipova, E. V. Tkacheva, S. I. Arbuzov et al. // *Solid Fuel Chemistry*. – 2019. – V. 53. – № 6. – Pp. 411–417.

583. Plumlee, G. *The Medical Geochemistry of Dusts, Soils, and Other Earth Materials* / G. Plumlee, T. Ziegler // *Treatise on Geochemistry*; [eds. Barbara Sherwood Lollar]. – Elsevier, 2007. – Pp. 1–61.

584. Pope, C. A. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect / C. A. Pope, D. W. Dockery // *Journal of the Air & Waste Management Association*. – 2006. – V. 56 (6). – Pp. 709-742.

585. Pozhitkov, R. Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions / R. Pozhitkov, D. Moskovchenko, A. Soromotin, A. Kudryavtsev, E. Tomilova // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2020. – V. 192(4). – Pp. 192–215.

586. Raes, F. The Second Aerosol Characterization Experiment (ACE-2): General overview and main results / F. Raes, T. Bates, F. M. Mc. Govern, M. Liederkerke. – *Tellus*, 2000. – V. 52. – 111 p.

587. Rahn, K. A. Relative importances of North America and Eurasia as sources of Arctic aerosol / K. A. Rahn // *Ibid.* – 1981. – V. 15. – № 8. – P. 1447–1455.

588. Raputa, V. F. Experimental study and numerical analysis of the pollution in the area of highway according to the snow cover composition / V. F. Raputa, V. V. Kokovkin, O. V. Shuvaeva, S.V. Morozov // *Proceedings of International Conference on Energy and Development, Environment and Biomedicine*. – 2010. – Pp. 104–108.



589. Raputa, V. F. Aerosol falls on snow cover on the outskirts of Siberian towns / V. F. Raputa, T. V. Khodzher, A. G. Gorshkov, K. P. Koutzenogii // *Journal of Aerosol Science*. – 1998. – V. 29 (SUPPL.2). – Pp. S807–S808.
590. Ratafia-Brown, J. A. Overview of trace element partitioning in flames and furnaces of utility coal-fired boilers / J. A. Ratafia-Brown // *Fuel Processing Technology*. – 1994. – № 1–3. – Pp. 139–157.
591. Ratkin, N. E., Cartographic modelling of aerotechnogenic pollution in snow cover in the landscapes of the Kola Peninsula / N. E. Ratkin, V. E. Asming, V. V. Koshkin // *Chemosphere*. – 2001. – V. 42. – Pp. 1–8.
592. Reinosdotter, K. A comparison of snow quality in two Swedish municipalities: Luleå and Sundsvall / K. Reinosdotter, M. Viklander // *Water Air Soil Pollut.* – 2005. – V. 167. – Pp. 3–16.
593. 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, A. C. Bryant // *Aeolian Research*. – 2014. – V. 15. – Pp. 73–90.
594. Ruby, M. V. Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiological based extraction test / M. V. Ruby, A. Davis, R. Schoof, S. Eberle, C. M. Sellstone // *Environment science technology*. – 1996. – V. 30. – Pp. 422–430.
595. Rudnick, R. L. Composition of the continental crust / R. L. Rudnick, S. Gao / *Treatise on geochemistry*. – Elsevier Science, 2003. – V. 3. – 659 p.
596. Russell, M. C. The impact of three recent coal-fired power plant closings on Pittsburgh air quality: a natural experiment / M. C. Russell, J. H. Belle, Y. Liu // *Journal of the Air & Waste Management Association*. – 2017. – V. 67. – № 1. – Pp. 3–16.
597. Sakerin, S. M. Results of studying physicochemical characteristics of atmospheric aerosol in the 71st cruise of RV Akademik Mstislav Keldysh / S. M. Sakerin, P. N. Zenkova, D. M. Kabanov, V.V. Polkin et al. // *Atmospheric and Oceanic Optics*. – 2020. – V. 33. – № 5. – Pp. 470–479.
598. Salbu, B. Radionuclide speciation and its relevance in environmental impact assessments/ B. Salbu, P. C. Linf, L. Skipperud // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2004. – № 74. – Pp. 233–242.
599. Salbu, B. Speciation of radionuclides in the environment / B. Salbu // *Encyclopedia of analytical chemistry*; [editor by R. A. Meyers]. – Chishester: John Wiley and Sons Ltd, 2000. – Pp. 12993–13016.
600. Salma, I. Comparative study of elemental mass size distributions in urban atmospheric aerosol / I. Salma, W. Maenhaut, G. Zaray // *Journal Aerosol Science*. – V. 33. – 2002. – Pp. 339–356.
601. Salvadó, J. A. Release of black carbon from thawing permafrost estimated by sequestration fluxes in the East Siberian Arctic Shelf recipient / J. A. Salvadó, L. Bröder, A. Andersson, I. P. Semiletov, Ö. Gustafsson // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2017. – V. 31(10). – Pp. 1501–1515.

602. Satsangi, P. G. Characterization of PM<sub>2.5</sub> 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. – Pp. 217–232.
603. Seinfeld, J. H. *Atmospheric Chemistry and Physics -From Air Pollution to Climate Change* / J. H. Seinfeld, S. N. Pandis. – 2nd edition. – New York: John Wiley & Sons, 2006. – 1342 p.
604. Seinfeld, J. H. *Atmospheric chemistry and physics. From Air Pollution to Climate Change* / J. H. Seinfeld, S. H. Pandis. – New York: John Wiley & Sons Inc., 1998. – 1326 p.
605. Shao, X. Monitoring of ultra-trace uranium and thorium in six-grade particles / X. Shao, Y. Xu, Y. Zhang, L. Yin, X. Kong, Y. Ji // *Chemosphere*. – 2019. – V. 233. – Pp. 76–80.
606. Shevchenko, V. Heavy metals in aerosols over the seas of the Russian Arctic / V. Shevchenko, A. Lisitzin, A. Vinogradova, R. Stein // *Science Total Environment*. – 2003. – V. 306 (1–3). – Pp. 11–25.
607. Shevchenko, V. P. Insoluble particles in the snowpack of the Ob river basin (Western Siberia) a 2800 km submeridional profile / V. P. Shevchenko, S. N. Vorobyev, I. V. Krickov, A. G. Boev et al. // *Atmosphere*. – 2020. – № 11. – Article number 1184.
608. Siudek, P. An investigation of atmospheric mercury accumulated in the snow cover from the urbanized coastal zone of the Baltic Sea, Poland / P. Siudek, L. Falkowska, M. Frankowski, J. Siepak // *Atmospheric Environment*. – 2014. – V. 95. – Pp. 10–19.
609. Siudek, P. Distribution and variability of total mercury in snow cover – a case study from a semi-urban site in Poznan, Poland / P. Siudek // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – № 23. – Pp. 24316–24326.
610. 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. – Pp. 965–968.
611. Tager, I. B. *Health effects of aerosols: Mechanisms and epidemiology* / I. B. Tager // *Aerosols Handbook: Measurement, dosimetry, and health effects* / Eddition by L. S. Ruzer, N. H. Harley. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – Pp. 619–696.
612. Talovskaya, A. V. Characterization of solid airborne particles deposited in snow in the vicinity of urban fossil fuel thermal power plant (Western Siberia) / A.V. Talovskaya, E. G. Yazikov, E. A. Filimonenko, J.-C. Lata, J. Kim, T. S. Shakhova // *Environmental Technology (United Kingdom)*. – 2018. – V. 39 (18). – Pp. 2288–2303.

613. Talovskaya, A. V. Dust pollution of the atmosphere in the vicinity of coal-fired power plant (Omsk City, Russia) / A. V. Talovskaya, V. F. Raputa, V. V. Litay, E. G. Yaziko et al. // *Proceedings of SPIE. Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics*. – 2015. – V. 9680. – Pp. 1–6.
614. Talovskaya, A. V. Fluorine concentration in snow cover within the impact area of aluminium production plant (Krasnoyarsk city) and coal and gas-fired power plant (Tomsk city) / A. V. Talovskaya, N. A. Osipova, S. A. Polikanova, N. P. Samokhina, et al. // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2015 – V. 27. – Pp. 012043-1-6.
615. Tang, X. Y. The effect of ageing on the bioaccessibility and fractionation of cadmium in some typical soils of China / X. Y. Tang, Y. G. Zhu, Y. S. Cui., J. Duan, L. Tang // *Environ. Int.* – 2006. – V. 32. – Pp. 682–689.
616. Taraškevičius, R. Hair geochemical composition of children from Vilnius kindergartens as an indicator of environmental conditions / R. Taraškevičius, R. Zinkut, L. Gedminien, Z. Stankevičius // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2018. –V. 40 (5). – Pp. 1817–1840.
617. Telmer, K. H. The atmospheric transport and deposition of smelter emissions: evidence from the multi-element geochemistry of snow, Quebec, Canada / K. H. Telmer, G. F. Bonham-Carter, D. A. Kliza, G. E. M. Hall // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2004. – V. 68 (14). – Pp. 2961–2980.
618. Tentyukov, M. P. Geochemical cycle of atmospheric iron over Yamal and its impact on the content of iron compounds in tundra landscapes / M. P. Tentyukov // *Russ Meteorol Hydro.* – 2005. – № 5. – Pp. 25–30.
619. UNEP. Global mercury assessment 2013: sources, emissions, releases and environmental transport. – 2013. – UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland.
620. Vasic', M. V. Metal contamination of short-term snow cover near urban crossroads: Correlation analysis of metal content and fine particles distribution / M. V. Vasic', A. Mihailovic, U. Kozmidis-Luburic, T. Nemes, J. Ninkov, T. Zeremski-Škoric // *Chemosphere*. – 2012. – V. 86. – Pp. 585–592.
621. Vasilevich, M. I. Chemical composition of snow cover in the taiga zone of the Komi Republic / M. I. Vasilevich, V. A. Beznosikod, B. M. Kondratenok // *Water Resources*. – 2011. – V. 38. – №. 4. – Pp. 530–542.
622. Vassilev, S. V. Phase mineralogy studies of solid waste products from coal burning at some Bulgarian thermoelectric power plants / S. V. Vassilev // *Fuel*. – 1992. – V. 71 (6). – Pp. 625–633.
623. Vejahati, F. Trace elements in coal: Associations with coal and minerals and their behavior during coal utilization–A review / F. Vejahati, Z. Xu, R. Gupta // *Fuel*. – 2010. – № 4. – Pp. 904–911.
624. Veremchuk, L. V. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory / L.V. Veremchuk., K. Tsarouhas, T. I. Vitkina, E. E. Mineeva, et al. // *Environ. Pollut.* – 2018. – V. 235. – Pp. 489–496.

625. Viklander, M. Substances in Urban Snow. A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Lulea, Sweden / M. Viklander // *Water Air Soil Poll.* – 1999. – V. 114. – № 3–4. – Pp. 377–394.
626. Vinokurov, S. F. REE distribution of snow samples: a sensitive indicator of environment pollution / S. F. Vinokurov, D. B. Petrenko, V. A. Sychkova, N. P. Tarasova // *Doklady Earth Sciences.* – 2014. – V. 456. – Pp. 602–606.
627. Vlasov, D. Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: Partitioning and deposition rates in western Moscow / D. Vlasov, J. Vasil'chuk, N. Kosheleva, N. Kasimov // *Atmosphere.* – 2020. – №. 11. – Article number 907.
628. Wang, Z. Advances in Ultra-Trace Analytical Capability for Micro/Nanoplastics and Water-Soluble Polymers in the Environment: Fresh Falling Urban Snow / Z. Wang, N. K. Saade, P. A. Ariya // *Environmental Pollution.* – 2021. – V. 276. – Pp. 116698–116708.
629. Warneck, D. Chemistry of the natural atmosphere / D. Warneck. // *Int. Geoph. Series. Acad. Press.* – 1998. – V. 41. – Pp. 757–760.
630. Weber, R. I. A study of new particle formation and growth involving biogenic trace gas species measured during ACE-1 / R. I. Weber // *Geophysical Research.* – 1998. – V. 103. – P. 16385–16369.
631. Wedepohl, K. H. The composition of the continental crust / K. H. Wedepohl // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1995. – V. 59. – № 7. – Pp. 1217–1232.
632. WHO. Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012, Description of Method, Version 1.3. WHO, Geneva. “The Global Health Observatory.” – World Health Organization, 2014.
633. WHO. WHO's Source Apportionment Database for PM10 and PM2.5. – World Health Organization, 2015. – 243 p.
634. WHO. World health statistics 2015. – World Health Organization, 2015 – 250 p.
635. WHO: Health aspects of air pollution/ Results from the WHO project «Systematic review of Health aspects of air pollution in Europe» / Technical report. – Copenhagen: Denmark, 2015. – 223 p.
636. Xu, M. Status of trace element emission in a coal combustion process: a review / M. Xu, R. Yan, C. Zheng, Y. Qiao, J. Han, C. Sheng // *Fuel Processing Technology.* – 2003. – V. 85. – Pp. 215–237.
637. Yatkin, S. Determination of major natural and anthropogenic source profiles for particulate matter and trace elements in Izmir, Turkey / S. Yatkin, A. Bayram // *Chemosphere.* – 2008. – № 4. – Pp. 685–696.
638. 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. – Pp. 287–302.

639. Zeb, K. Factors influencing environment and human health by cement industry: Pakistan a case in point / K. Zeb, Y. Ali. M. W. Khan // *Management of Environmental Quality: An International Journal* – 2019. – V. 30(4). – Pp. 751-767.
640. Zhang, X. L. Characterization of individual fly ash particles in surface snow at Urumqi Glacier No. 1, Eastern Tianshan / X. L. Zhang, G. Wu, T. D. Yao // *China Science Bulluten.* – 2011. – V. 56 (32). – Pp. 3464–3473.
641. Zhang, Y. Characterization of mercury contents in snow and potential sources, Shanghai, China / Y. Zhang, G. Xiu, X. Wu, C. W. Moore, et al. // *Science of the Total Environment.* – 2013. – V. 449. – Pp. 434–442.
642. 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 // *Energ Fuel.* – 2006. – № 20 (4). – Pp. 1490–1497.
643. Zyryanov, V. V. Characterization of spinel and magnetospheres of coal fly ashes collected in power plants in the former USSR / V. V. Zyryanov, S. A. Petrov, A. A. Matvienko // *Fuel.* – 2011. – V. 90. – Pp. 486–492.