

На правах рукописи



Филимоненко Екатерина Анатольевна

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Язиков Егор Григорьевич

Официальные оппоненты:

Бортникова Светлана Борисовна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск), заведующий лабораторией геоэлектрохимии

Ерёмин Виталий Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, ФГБОУ «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (СГУ, г. Саратов), заведующий кафедрой геоэкологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт минералогии Уральского отделения Российской академии наук (г. Миасс)

Защита состоится «12» ноября 2015 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (20-й корпус, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
к.г.-м.н., доцент



Л.В. Жорняк

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Объекты топливно-энергетического комплекса вносят существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха в промышленно-урбанизированных центрах России (Обзор..., 2010) и других стран (IEA..., 2013). В результате процессов сжигания топлива в атмосферу выбрасываются газовые и аэрозольные примеси с токсичными химическими элементами, а также являющиеся эффективными катализаторами атмосферных реакций окисления (Остромогильский, 1984; Виноградов, 1993; Добровольский, 1998). Выбросы от объектов теплоэнергетики формируют поля антропогенных геохимических аномалий и требуют тщательных исследований. Особое внимание мирового научного сообщества уделено изучению и оценке степени загрязнения компонентов природной среды в зонах влияния угольных теплоэлектростанций (Sun et al., 2013; Jayasekher, 2009; Charro et al., 2013, Veselska et al., 2013, Swietlik et al., 2013; Wang et al., 2013, Артамонова, 2007; Бортникова и др., 2009; Куимова и др., 2012; и др.). Однако, в основном, данные исследования посвящены изучению химических элементов, относящихся к группе тяжелым металлам (Hg, As, Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Mn и др.).

Известно, что структура заболеваемости населения зависит от специфики загрязнения атмосферного воздуха в местах проживания людей; на заболевания дыхательных путей в большей степени влияют выбросы теплоэнергетики (Онищенко, 2004). Это обуславливает важность исследования состояния компонентов окружающей среды, испытывающих негативное воздействие со стороны объектов энергетической отрасли.

Для определения уровней загрязнения, состава и мощности выбросов предприятий, а также доли вещества, увлекаемого в дальний и локальный перенос, исследователями используется снеговой покров, являющийся индикатором техногенного аэрозольного поступления химических элементов (Ettala et al., 1986; Sakai et al., 1988; Viskari et al., 1997; Viklander, 1999; Ceburnis et al., 2002; Elik, 2002; Bucko et al., 2011; Cereceda-Balic et al., 2012; Baltrenaite et al., 2014). В России подобные исследования снегового покрова как индикатора техногенного загрязнения атмосферного воздуха проводятся во многих городах, например, в Москве (Саэт и др., 1990 г.; Макарова, 2003; Попов, 2007 г.; Касимов и др., 2012), Новосибирске (Артамонова, 2007; Бортникова и др., 2009 г.; 2012 г.), городах Прибайкалья (Санина и др., 2007 г.; Ходжер, 2008 г., Скворцов и др., 2011 г.), Новоуральске (Баглаева и др., 2012 г.). Результаты исследований элементного, ионного составов нерастворимой и растворимой фаз снега в г. Томске и Томском регионе освещены в работах Бояркиной А.П. (1993 г.), Адама А.А. и др. (1994 г.), Язикова Е.Г. (1996, 2004, 2006 гг.), Ильченко Н.В. (2000 г.), Летувнинкаса А.И. (2001 г.), Шатилова А.Ю. (2001 г.), Иванова А.Ю. (2007), Таловской А.В. (2008 г.), Савичева О.Г. (2010).

На территории Томской области производственную деятельность осуществляют различные объекты энергетической отрасли. На севере области функционируют нефтегазодобывающие промыслы; через территорию области проходят магистральные нефте- и газопроводы. Восточные районы являются наименее индустриализированной частью области, на их территории загрязнение

атмосферного воздуха связано с заготовкой древесины и ее сжиганием в качестве основного источника энергии. На территории юго-западных районов области, которые являются преимущественно сельскохозяйственными территориями, и юго-восточных районов наряду со сжиганием биомассы при печном отоплении, большинство объектов социальной инфраструктуры обеспечиваются теплоэнергией от угольных котельных. Также на юго-востоке области сконцентрированы основные промышленные мощности региона, включающие объекты ядерно-топливного цикла (Сибирский химический комбинат) и крупные газовые и газо-угольные теплоэлектростанции.

Наличие на территории Томской области значительного количества объектов теплоэнергетической отрасли делает выбранный регион удобным объектом для оценки влияния данных объектов на формирование эколого-геохимической обстановки в районах их размещения посредством использования в качестве индикатора нерастворимой и растворимой фаз снега.

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

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

Задачи исследований:

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

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положены результаты исследований, проводившихся лично автором и совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета в период с 2009 по 2014 год.

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

Пробы снега (754 пробы) отбирали в 102 населенных пунктах 16 районов Томской области; в окрестностях технологических объектов нефтяного месторождения (Александровский район) и в окрестностях промышленных предприятий г. Томска (газо-угольная теплоэлектростанция – Томская ГРЭС-2, нефтехимический завод – Томскнефтехим и кирпичные заводы).

Пробы нерастворимого (твердого) осадка снега были проанализированы на содержание 28 химических элементов инструментальным нейтронно-активационным анализом (754 пробы) в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии на базе учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» (Физико-технический институт ТПУ) (аналитики А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Кроме этого для изучения проб нерастворимой фазы снега использовались такие методы анализа, как масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) – определение 64 химических элементов в 78 пробах в химико-аналитическом центре «Плазма» (Россия, г. Томск); атомно-абсорбционная спектрометрия (определение содержания ртути в 468 пробах, прибор РА-915⁺ с приставкой ПИРО-915), растровая электронная микроскопия (сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N) с энергодисперсионным микроанализатором Bruker XFlash 4010 (232 частицы) и порошковая рентгеновская дифрактометрия (4 пробы, прибор Bruker D2 PHASER) на базе МИНОЦ «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ.

Пробы растворимой фазы снега (снеготалой воды) были проанализированы комплексом методов: масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) – определение 69 химических элементов в 78 пробах (ХАЦ «Плазма», г. Томск); атомно-абсорбционная спектрометрия «холодного пара» – определение концентраций ртути в 75 пробах, прибор РА-915⁺ с приставкой РП-91 (МИНОЦ «Урановая геология», кафедра геоэкологии и геохимии ТПУ); ионная хроматография, потенциометрия, титриметрия, кондуктометрия и фотоколориметрия 88 проб (НПЦ «Вода», кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ).

Все анализы выполняли в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения. Достоверность аналитических результатов контролировалась с использованием параллельных

определений химических элементов несколькими аналитическими методами, а также с использованием процедуры внешнего контроля.

Научная новизна работы:

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

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

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

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

Материалы диссертационной работы используются при проведении лабораторных и практических занятий по курсам «Геоэкологический мониторинг», «Минералогия техногенных образований», «Методы исследования вещественного состава природных сред» для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям 022000 «Экология и природопользование», 020700 «Геология» кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Томского политехнического университета.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы, представлены на 27 Международных, 10 Всероссийских и 4

Региональных научных симпозиумах, форумах, конференциях, совещаниях, основными из которых являются Международный научный симпозиум студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2009 – 2015 гг.); Международный научный форум студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (г. Москва, 2011, 2012), Международная конференция «Экологическая геология и рациональное недропользование» (г. Санкт-Петербург, 2012); Международная конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде» (Республика Казахстан, г. Семипалатинск, 2012); Международная конференция «Естественные и антропогенные аэрозоли» (г. Санкт-Петербург, 2012); Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (г. Москва, 2014) и др.

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

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

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

Глава 2 посвящена природно-климатической и геоэкологической характеристикам Томской области.

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

В **главе 4** описаны уровни пылевой и ртутной нагрузок на территорию Томской области.

В **главе 5** охарактеризована геохимическая специализация нерастворимой фазы снега, особенности ионного состава снеготалой воды и характер поведения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2.

Глава 6 посвящена описанию минеральных природных и техногенных частиц в составе нерастворимой фазы снега, формам нахождения металлов и металлоидов в нерастворимой фазе снега, а также сферическим техногенным образованиям.

В **заключении** приведены основные выводы.

Личный вклад автора заключается в участии совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ в отборе и подготовке проб снега, в проведении части лабораторных исследований проб нерастворимой и растворимой фаз снега в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» (Россия, г. Томск); камеральной обработке результатов, анализе полученных данных, включая статистическую обработку, построение карт-схем и графиков.

Формулировка основных положений и написание текста диссертации выполнены автором по плану, согласованному с научным руководителем.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю профессору, д.г.-м.н. Языкову Е.Г. Огромную признательность автор выражает доценту, к.г.-м.н. Таловской А.В. за организацию исследовательской работы. Искреннюю благодарность автор выражает профессору, д.г.-м.н. Рихванову Л.П., доценту, к.х.н. Осиповой Н.А., профессору, д.г.-м.н. Арбузову С.И., доценту, к.г.-м.н. Соболеву И.С. за внимание и ценные советы при выполнении работы. Отдельную признательность автор выражает д.ф.-м.н., в.н.с. ИВМиВГ СО РАН Рапуге В.Ф., н.с. ИОА СО РАН Симоненкову Д.В., к.г.-м.н., ст. преподавателю, н.с. ИМКЭС СО РАН Ляпиной Е.Е., и.о. начальника Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области Трапезникову С.Я. Автор благодарен коллегам по кафедре геоэкологии и геохимии

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОЛОЖЕНИЕ 1. *Пылевая нагрузка на территорию населённых пунктов Томской области изменяется от $1,8 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ до $130,7 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ при среднем значении – $11 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$. Основная доля пылеаэрозольных выпадений приходится на районы размещения объектов угольной теплоэнергетики. Геохимическая специфика нерастворимой фазы снега в районах расположения объектов теплоэнергетики определяется интенсивностью пылевой нагрузки и составом используемого топлива. Неоднородность плотности выпадения пылеаэрозолей обуславливает особенности пространственной структуры геохимической нагрузки на территорию, например, ртуты, которая изменяется от $0,26 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$ до $17,61 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$ при среднем значении – $1,54 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$.*

Величина среднесуточной пылевой нагрузки на территорию каждого из 102 изученных населенных пунктов Томской области определена как среднее арифметическое между единичными пробами, отобранными на его территории (общее количество проб – 637). Усреднённые величины пылевой нагрузки на снежный покров на территории населенных пунктов изменяются от $1,8 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ (с. Белояровка, Колпашевский район) до $130,7 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ (г. Асино, Асиновский район) при средней величине для Томской области в целом – $11 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ (рисунок 1).

Наиболее контрастные ореолы среднесуточной пылевой нагрузки на территории Томской области установлены в пределах Асиновского, Томского, Тегульдетского и Александровского административных районов.

Анализ величины среднесуточной пылевой нагрузки на снежный покров в окрестностях различных технологических объектов одного из нефтяных месторождений Александровского района Томской области показал, что наибольшие значения данный показатель имеет вблизи факельных установок – от $18,7$ до $588,3 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$ и вблизи несанкционированных мест сжигания отходов – $87,5 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$.

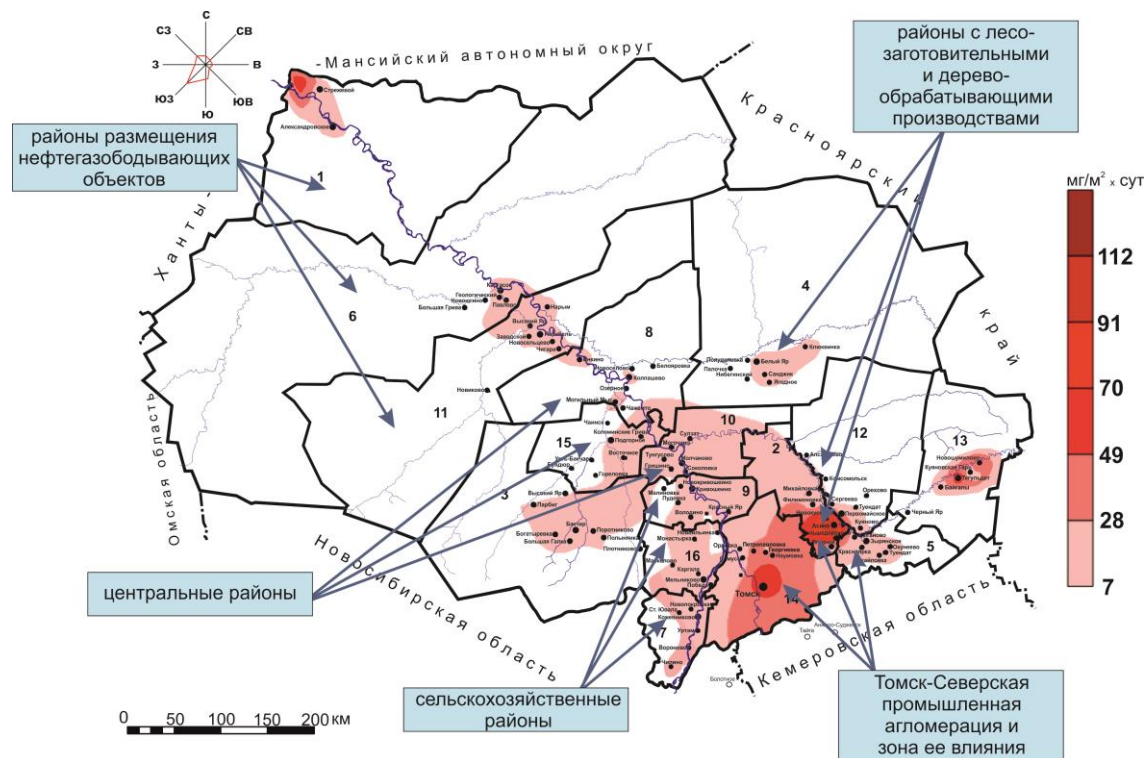


Рисунок 1 – Величина среднесуточной пылевой нагрузки на территорию населенных пунктов Томской области по данным снегового опробования

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

Основными локальными источниками пылевого загрязнения на территории населенных пунктов Томской области являются угольные котельные. На примере ряда населенных пунктов установлено, что уровень пылевого загрязнения снежного покрова вблизи угольных котельных в 1,3 – 7,9 раз выше средней величины пылевой нагрузки на территории населенного пункта. Тогда как вблизи котельных на газовом и древесном топливе уровень пылевого загрязнения снега или сопоставим, или в 1,3 – 2,7 раза ниже величин средней пылевой нагрузки для населенного пункта (рисунок 2).

В геохимическом отношении пробы нерастворимой фазы снега в окрестностях угольных котельных характеризуются повышенными концентрациями Co, As, Sr, Ba, Hg, редких и редкоземельных (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta), радиоактивных (Th, U) элементов относительно их средних концентраций в нерастворимой фазе снега рассматриваемых населенных пунктов. Элементный состав нерастворимой фазы снега вблизи газовых котельных отличается повышенными уровнями содержаниями Zn, Br, Sr, Sb в сравнении со средними концентрациями в пробах из населенных пунктов в целом. Содержания остальных химических элементов из изученного спектра в пробах из окрестностей газовых котельных имеют более низкие значения. Полученные нами результаты согласуются с данными о специфичности накопления Br, Sb в пылеаэрозолях на территориях, где осуществляется процесс сжигания газа – нефтегазодобывающие промыслы и нефтехимические производства (Языков,

2006). Концентрации Ca, Fe, Zn, Sb, Ba, Hg в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей котельных на древесном топливе имеют повышенные значения в сравнении с их средними концентрациями в пробах для населенного пункта в целом. В таблице 1 представлены уровни содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях котельных с различными видами топлива из некоторых рассмотренных нами населенных пунктов Томской области.

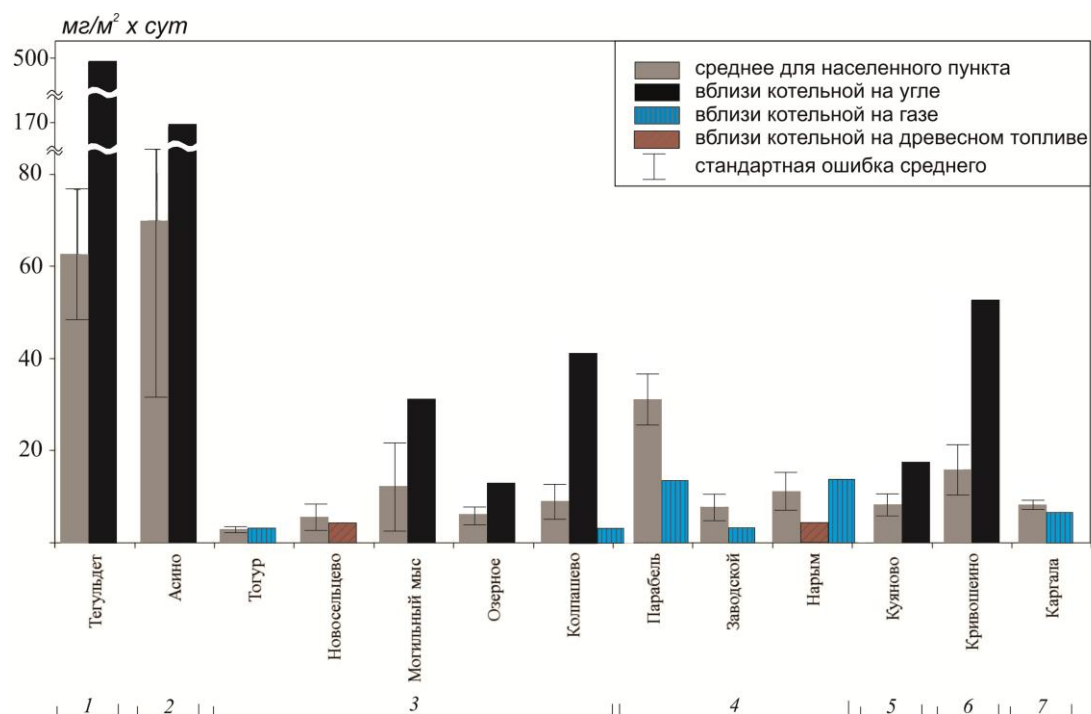


Рисунок 2 – Величина среднесуточной пылевой нагрузки вблизи котельных, работающих на различных видах топлива (уголь, газ, древесное топливо) в сравнении со средними величинами пылевой нагрузки на территории населенного пункта, $\text{мг/м}^2 \cdot \text{сут}$.

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

Содержание ртути в нерастворимой фазе снега в населенных пунктах Томской области варьируется в пределах от 0,022 мг/кг до 0,423 мг/кг при среднем значении 0,153 мг/кг и фоне по данным Е.Е. Ляпиной (2009) – 0,057 мг/кг. Наибольшие концентрации ртути установлены в пробах нерастворимой фазы снега из населенных пунктов северо-восточного сектора относительно Томск-Северской промышленной агломерации: Георгиевка – 0,423 мг/кг, Петропавловка – 0,400 мг/кг, Наумовка – 0,392 мг/кг, Орловка 0,360 мг/кг и Самусь 0,304 мг/кг. Тогда как наименьшие (0,025 – 0,120 мг/кг) – в населенных пунктах центральной части области. Это обусловлено их удаленным расположением от основных промышленных центров, как Томской области, так и соседних регионов, и отсутствием на их территории большого количества угольных котельных по сравнению с таковым на территории южных районов Томской области.

Таблица 1

Концентрации химических элементов в нерастворимой фазе снега вблизи котельных (угольных (У. К.), газовых (Г. К.) и на древесном топливе (Д. К.)) в сравнении со средними концентрациями в пробах для населенных пунктов, мг/кг (Na, Ca, Fe – в %)

Населенный пункт		Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br
Асино	У. К.	0,3	1,9	13,3	64	3	25,6	230	10,7	0,5
	среднее	0,3	4,4	9,1	56	2,2	16,8	219	8,1	4,8
Новосельцево	Д. К.	0,4	2,9	5,7	135	7,1	23,3	2553	10	7,2
	среднее	0,7	1,5	4,3	133	2,5	9,6	811	6,8	7,1
Нарым	Г. К.	0,9	1,4	6,4	78	2,1	7,8	824	5,1	5,7
	среднее	0,9	1,2	6,6	108	2	8,5	347	5,6	2,2
Населенный пункт		Sr	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu
Асино	У. К.	645	1,1	4,8	1171	46,3	86,7	34,2	7,1	1,5
	среднее	400	1,5	3,2	720	31,2	66,5	24,5	4,9	1
Новосельцево	Д. К.	458	13,3	1,7	1070	21,7	40,1	17,1	3,4	0,9
	среднее	237	5,2	1,3	447	12,8	34,1	12,6	2,6	0,6
Нарым	Г. К.	191	1,8	1,5	368	17,5	40,2	14,1	2,9	0,6
	среднее	231	2,4	1,7	378	18,5	42,1	14,1	3,2	0,6
Населенный пункт		Rb	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Hg	Th	U
Асино	У. К.	47,3	0,9	3,4	0,46	6,8	1,4	0,17	11,4	8
	среднее	37,5	0,7	2,4	0,33	4,8	0,8	0,17	7,8	4,7
Новосельцево	Д. К.	48,7	0,6	1,5	0,21	3,5	0,5	0,08	4,8	3,2
	среднее	41,6	0,4	1,3	0,2	2,8	0,3	0,11	3,1	2
Нарым	Г. К.	45,8	0,4	1,8	0,26	5,3	0,5	0,14	4,1	1,5
	среднее	42,5	0,5	1,9	0,26	5,1	0,5	0,12	4,6	2,2

По величине ртутной нагрузки на территории населенных пунктов Томской области установлены наиболее контрастные ореолы в южной части региона (рисунок 3). Среднее значение ртутной нагрузки на территорию населенных пунктов Томской области составляет $1,54 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$, при этом коэффициент ртутной нагрузки в эпицентрах установленных ореолов составляет $44,1 - 40,6$ единиц при фоне – $0,399 \text{ мг/км}^2 \cdot \text{сут}$.

В населенных пунктах сельскохозяйственных районов Томской области величина ртутной нагрузки превышает фон в 5 раз. Наркович Д.В. (2012) установлены повышенные уровни содержания ртути в волосах детей, проживающих в сельскохозяйственных районах Томской области. Вероятной причиной этого могут быть последствия использования удобрений. Известна возможность поступления ртути в атмосферный воздух и ее осаждения с атмосферными осадками в результате использования удобрений на территории запада центральной части США (Гратц и Килер, 2011), однако при этом не исключается вероятность поступления Hg совместно с К и Р от сжигания биомассы.

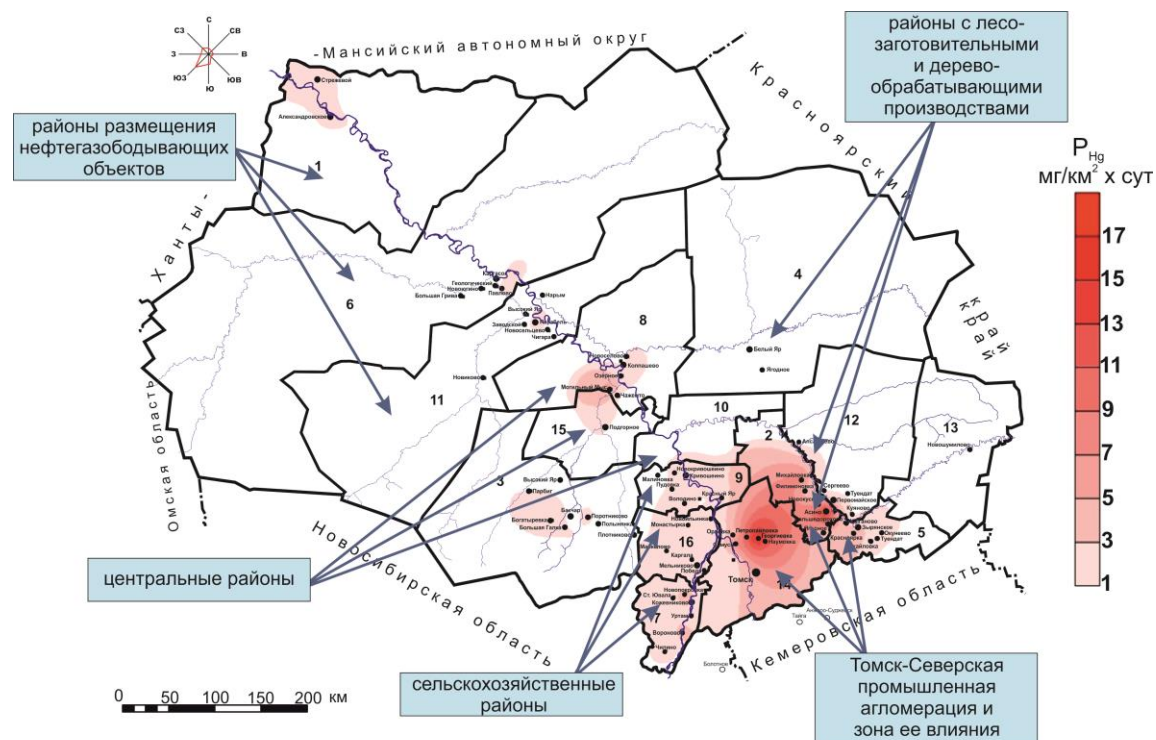


Рисунок 3 – Ртутная нагрузка на территории населенных пунктов Томской области (условные обозначения на рис. 1)

Ртутная нагрузка на территории населенных пунктов и нефтяного месторождения в Александровском районе превосходит фоновые величины в 3,4 – 4,1 раза, что обусловлено влиянием нефтедобывающих промыслов, которые являются источниками эмиссии ртути.

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

Из широкого спектра изученных химических элементов в пробах нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 уровни содержания Zn, As, Ba, La, Sm, Tb, Yb, Ta и U наиболее контрастно превышают региональный фон (Шатилов, 2001; Язиков, 2006) (таблица 2). Это отражает геохимическую специфику используемых на теплоэлектростанции углей Кузнецкого бассейна (Смыслов, 1996; Арбузов и др., 2000).

Таблица 2

Содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега в окрестностях
Томской ГРЭС-2 с 2009 по 2014 гг., мг/кг

Хим. эл-т	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	Фон*
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	0,15
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	0,82
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	7,1
Cr	101±13	111±10	94±9	89±6	101±12	80±6	110
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	1,87
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	10,3
Zn	519±96	652±173	421±131	589±96	1797±479	1987±522	н.д.
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	0,5
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	2,9
Rb	47±6	52±1	48±3	51±2	60±4	41±9	55
Sr	360±49	275±22	322±26	428±44	562±93	491±31	100
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	2,3
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	3,5
Ba	1960±250	656±31	664±55	834±135	939±83	796±13	100
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	2,8
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	10,3
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	н.д.
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	0,57
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	1,1
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	0,06
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	0,2
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	0,075
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	2,2
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	0,1
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	0,22
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	0,057
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	2,9
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	0,2
Th/U	1,97	2,20	2,14	2,16	2,34	2,15	14,5
СПЗ	143	136	116	163	164	157	

Примечание: * – данные Язикова (2006), Шатилова (2001); ** – среднее ± стандартная ошибка среднего; н.д. – нет данных; (Hg – результаты атомно-абсорбционной спектроскопии, остальные химические элементы – результаты ИНАА)

Пробы нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 характеризуются статистически значимо более высокими уровнями содержания Ca, Sc, Fe, Co, As, Sr, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U относительно среднего состава твердого осадка снега в г. Томске (Таловская, 2008). Дополнительно повышенные концентрации Zn, P, Cu, Mo, Cd, Sn, Bi, Pb (рисунок 4) в пробах нерастворимой фазы снега в окрестностях Томской ГРЭС-2 установлены относительно проб из окрестностей некоторых других промышленных объектов, являющихся основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в г. Томске (нефтехимический завод, кирпичные заводы (Таловская, 2008; Экологический..., 2009 – 2014)).

Степень загрязнения территории в окрестностях Томской ГРЭС-2 в период с 2009 по 2014 гг. на основе рассчитанных значений суммарного показателя загрязнения (СПЗ, таблица 2) соответствует средней степени загрязнения согласно нормативной градации, используемой в практике атмогеохимических исследований (Геохимия..., 1990).

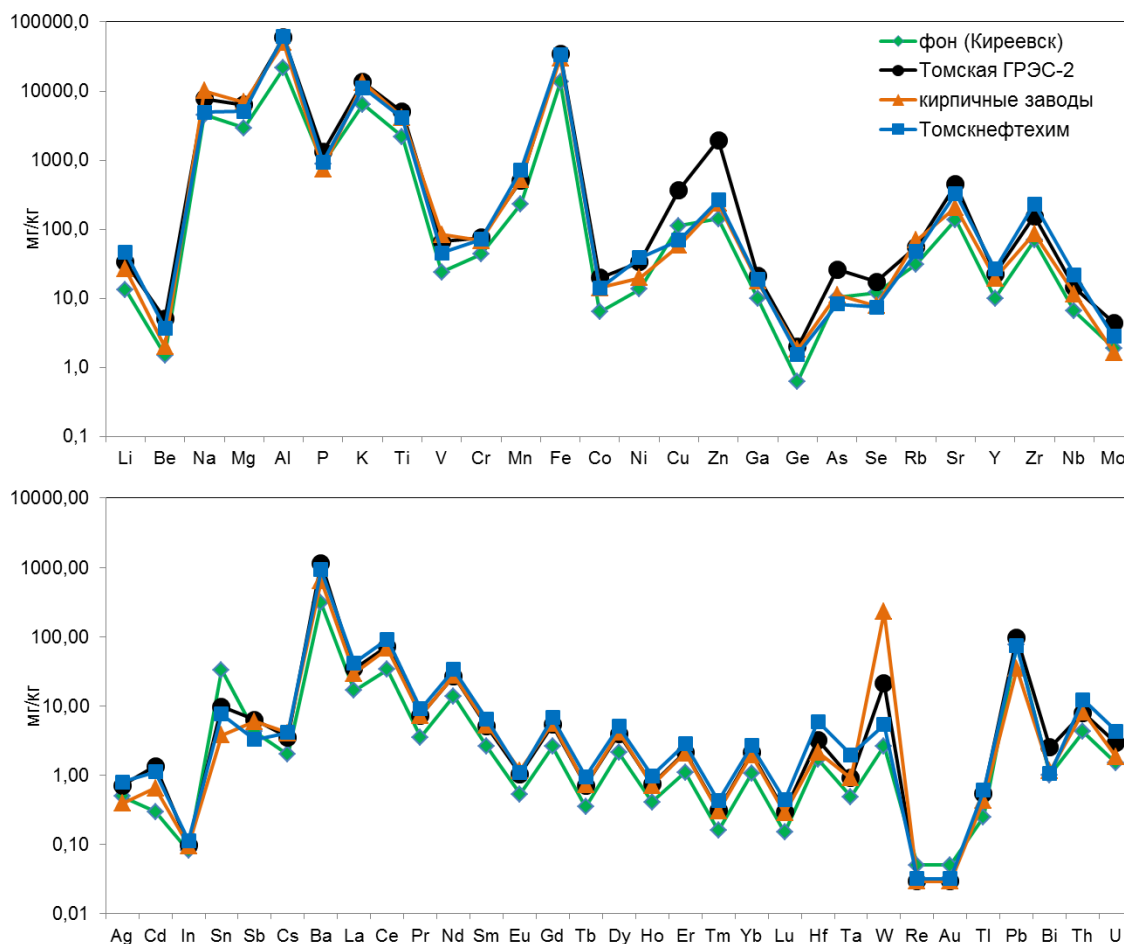


Рисунок 4 – Средние содержания химических элементов в нерастворимой фазе снега из окрестностей промышленных предприятий г. Томска в 2013-2014 гг. (результаты ICP-MS), мг/кг

Уровни среднесуточного выпадения химических элементов на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 в период с 2009 по 2014 гг. в 0,6 – 2170 раз превышают величины регионального фона. В среднем приток As, Ba, La, Sm, Tb, Yb, Ta и U на снежный покров в окрестностях теплоэлектростанции более чем в 100 раз превышает фон; Na, Zn, Ce и Lu – от 50 до 100 раз. Уровни среднесуточного поступления Na, Cr, Rb, Sb, Cs, Eu, Au и Hg с нерастворимой составляющей атмосферных частиц на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 сопоставимы со средними значениями для г. Томска (Таловская, 2008). Среднесуточный приток Ca, As, Sr, Ba, Yb и U на снежный покров в окрестностях теплоэлектростанции в среднем за период с 2009 по 2014 гг. превышает средние городские величины в 1,5–4,2 раза. При этом среднесуточные выпадения всех рассматриваемых химических элементов на снежный покров в условно ближней зоне воздействия Томской ГРЭС-2 (на удаление до 1 км от труб

теплоэлектростанции) имеют более высокие значения по сравнению с условно дальней зоной воздействия (на удаление от 1 до 2 км от труб теплоэлектростанции).

Ph снеготалой воды из окрестностей Томской ГРЭС-2 изменяется от 6,1 до 6,9 единиц, а минерализация проб – от 12,7 до 52,0 мг/дм³ (ультрапресные воды). Согласно расчетам коэффициентов подвижности (Перельман, 1965) высоко подвижными химическими элементами в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2 являются Ca, Sb, Na, As ($K_{\text{подв}} > 5$), также подвижными ($1 < K_{\text{подв}} < 5$) являются Ni, Bi, Se, Mo, In, K, Cd, Zn, P, Lu, Mg, Tm, Ag, Sr, Ge, Tl, Co, Ba, Mn; средняя подвижность ($0,5 < K_{\text{подв}} < 1$) установлена для Cu, Tb, Ho, Pb, Cr, U, Eu, Rb, Li, V; а группу инертных химических элементов ($0,04 < K_{\text{подв}} < 1$) составляют Be, Sn, W, Ta, Cs, Yb, Er, Dy, Sm, Hf, Gd, Y, Ga, Fe, Nd, La, Pr, Ce, Th, Al, Nb, Zr и Ti.

Согласно расчетам коэффициентов распределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» абсолютное большинство изученных химических элементов в составе проб снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 сконцентрировано в нерастворимой фазе снега. При этом химические элементы, установленные как элементы-индикаторы воздействия теплоэлектростанции, а также некоторые другие – Fe, Pb, W, Ti, Ga, Sr, Yb, Er, Hf, Al, Zr, Gd, Cd, Ba, Zn и As, уменьшают свою подвижность в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2 относительно локального фона (таблица 3).

Таблица 3

Коэффициенты распределения химических элементов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода» в окрестностях Томской ГРЭС-2 (2013 – 2014 гг.)

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

$K_{\text{распределения}} = \lg (C_i \text{ взвесь} / C_i \text{ снеготалая вода})$, где $C_i \text{ взвесь}$ – концентрация химического элемента в составе нерастворимой фазы снежного покрова, мг/дм³; $C_i \text{ снеготалая вода}$ – концентрация химического элемента в снеготалой воде, мг/дм³

По результатам векторного отбора проб снега в северо-восточном направлении от дымовых труб Томской ГРЭС-2 установлено, что в период с 2009 по 2011 гг. наибольший уровень пылевого загрязнения снежного покрова находится на удалении 1,0 км от высотного источника выбросов (таблица 5). Мониторинг снежного покрова в окрестностях Томской ГРЭС-2 с 2012 по 2014 гг.

показал резкое изменение характера распределения величины пылевой нагрузки, это может быть связано с рядом факторов: реконструкция пылегазоулавливающего оборудования на теплоэлектростанции, изменение метеорологических параметров, временное наложение выбросов автотранспорта в связи с изменением транспортных схем автодвижения.

На основе установленного характера распределения величины пылевой нагрузки на снежный покров в окрестностях Томской ГРЭС-2 были выделены условно ближняя зона влияния теплоэлектростанции (до 1,0 км от труб), где превышение регионального фона (7 мг/м²·сут (Шатилов, 2001)) составляет 7,8–26,5 раз, и условно дальняя (1,0 – 2,0 км от труб), где фон превышен от 5,1 до 9,8 раз. Динамика усредненных значений величины пылевой нагрузки по направлению северо-восточного вектора от труб Томской ГРЭС-2 с 2009 по 2014 гг. имеет устойчивую тенденцию снижения (таблица 4).

Таблица 4

Динамика пылевого загрязнения снежного покрова в северо-восточном направлении от труб Томской ГРЭС-2 в период с 2009 по 2014 гг., мг/м²·сут

Расстояние от труб Томской ГРЭС-2, км	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
0,73	152	99	100	87	46	105
1,00	219	162	131	38	63	42
1,30	84	53	66	21	31	44
1,60	70	70	65	98	38	28
2,00	52	65	48	41	44	35
среднее	115±31*	90±20	82±15	57±15	44±5	51±14

Примечание: * – среднее ± стандартная ошибка среднего

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

Пробы нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 состоят из кристаллической и аморфной фаз (таблица 5).

Аморфное вещество представлено частицами шлака и золы от сжигания угля. По данным микроскопического изучения проб нерастворимой фазы снега по запатентованной методике «Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами» (Пат. 2229737 Россия, МПК7 G 01 V 9/00, Языков Е.Г. и др.) установлено, что процентная доля частиц сажи, шлака, золы и угольной пыли, являющихся специфичными компонентами нерастворимой фазы снега в зоне воздействия Томской ГРЭС-2, изменяется от 37 до 54% в период с 2009 по 2014 гг.

Сферические техногенные образования, т.е. микросферулы, в пробах нерастворимой фазы снега и золе-уноса Томской ГРЭС-2 на 63,4 – 99,6 мас.% состоят из O, Al, Si, Fe, Ca, а также в их состав входят Na, Mg, K, P и Ti. На основе соотношения в сферических техногенных образованиях массовых содержаний Al, Si и Fe были выделены три группы микросферул –

алюмосиликатные, высокожелезистые алюмосиликатные и ферросферулы (рисунок 5). Наличие различных по составу алюмосиликатных микросферул обусловлено различным составом продуктов переплавления при сжигании угля, из которых они сформированы.

Таблица 5

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

Минералы	Кварц	Альбит	Мусковит	Муилит	Диопсид	Хлорит	Доломит	Магнетит	Кальцит	Кристо- балит
Томская ГРЭС-2	59,7	14,1	-*	12	8,1	6,1	-	-	-	-
Кирпичные заводы	54,4	27,8	11,7	1,6	-	-	1,6	1,4	1,2	0,3
Томскнефтехим	49,9	6,9	-	34,9	8,3	-	-	-	-	-
Фон (пос. Киреевск)	63,7	29,1	-	-	3,6	3,6	-	-	-	-

Примечание: * - не обнаружен

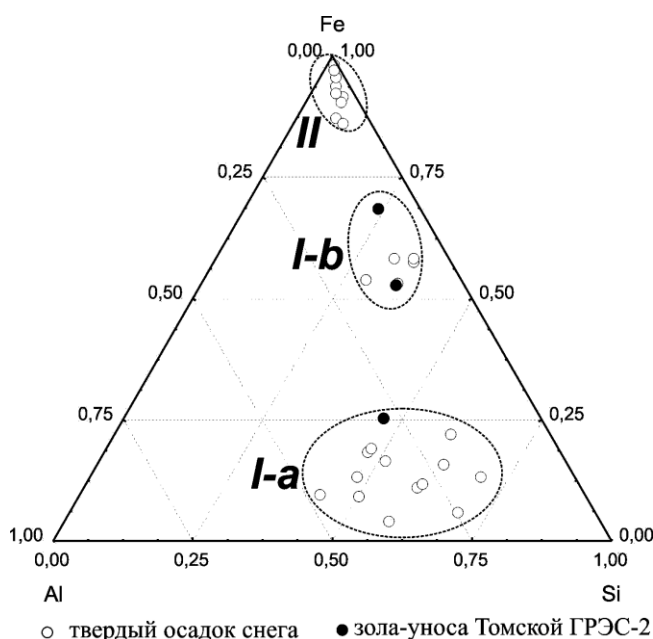


Рисунок 5 – Тройная диаграмма соотношения массовых содержаний Al, Si и Fe в сферических техногенных образованиях из нерастворимой фазы снега и золы-уноса Томской ГРЭС-2

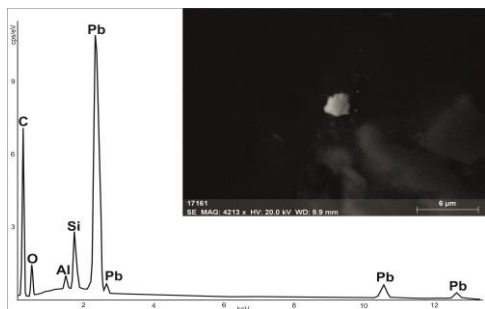
I-a – алюмосиликатные микросферулы

I-b – высокожелезистые алюмосиликатные микросферулы

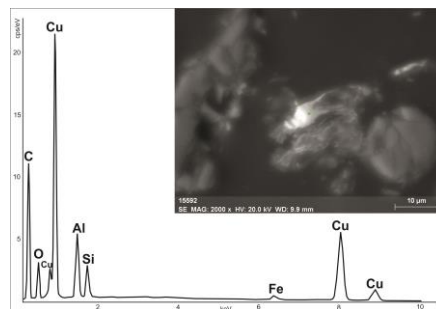
II – ферросферулы

В нерастворимой фазе снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 обнаружены частицы самородного Ti (100 мкм), Fe (5 – 11 мкм), Cu (8 мкм), Ag (3,5 мкм), Pb (2,6 мкм) (рисунок 6). Частицы интерметаллического состава, содержащие W-Ti-Fe (1,4 – 1,6 мкм) идентифицированы в пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2, в то же время интерметаллические соединения Fe-Cr и Fe-Cr-Ni (1,5 – 22 мкм), W-Ti, Cu-Zn (3,8 мкм), Ni-Zn (2,6 мкм); Cu-Ni-Cr (15 мкм) и Cu-Ni-Zn-Mn (2,6 мкм) обнаружены в пробах из д. Наумовка, а Cu-Sn (1,2 – 2 мкм), Cu-Sn-Fe (1,6 мкм) – на фоновой территории в пос. Киреевск.

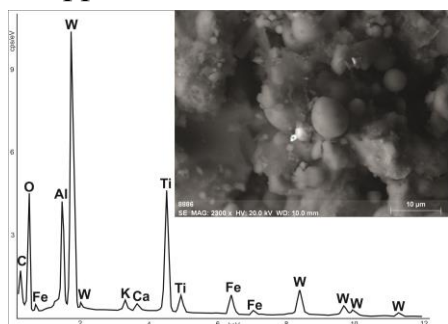
Самородный свинец



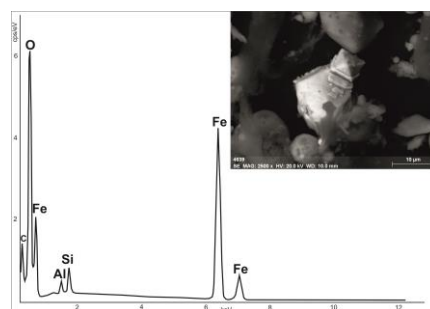
Самородная медь



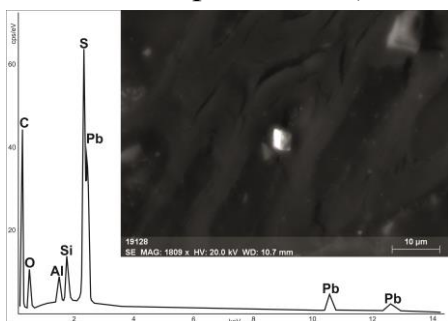
*Интерметаллическое соединение
вольфрама, титана и железа*



Оксид железа



Фаза серы и свинца



Фаза серы и меди

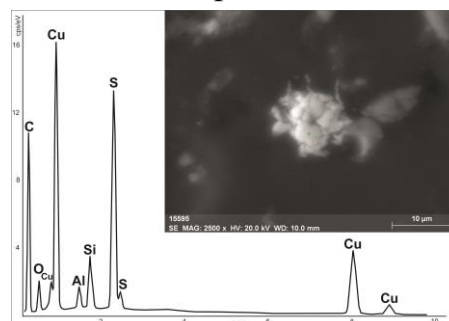


Рисунок 6 – Формы нахождения металлов в нерастворимой фазе снега

В пробах нерастворимой фазы снега из окрестностей Томской ГРЭС-2 обнаружено значительное количество оксидных минеральных форм. Так, идентифицированы оксиды Fe (2 – 127 мкм), Fe и Ti (23 – 31 мкм); Sb (2,8 – 5,3 мкм). Фазы, содержащие S, Fe, Pb, Cu и Sb обнаружены в магнитной фракции проб в окрестностях Томской ГРЭС-2. Дополнительно серосодержащие фазы установлены для Zn и As в пробах с фоновой территории (пос. Киреевск). Размер частиц данного типа изменяется от 2 до 14 мкм.

Самородные металлы, интерметаллические соединения содержатся в углях различных бассейнов (Seredin, 2004; Ильенко, 2013; Yossifova, 2014), халькофильные элементы, например Cu, Fe, Pb, Zn, As и Sb, являются типичными элементами-примесями в углях (Юдович и Кетрис, 2005), поэтому выбросы объектов угольной теплоэнергетики являются наиболее вероятным источником данных частиц, идентифицированных нами в составе проб нерастворимой фазы снега.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ:

1. Наиболее контрастные ореолы пылевого загрязнения территории в южной части Томской области сформированы под воздействием источников Томск-Северской промышленной агломерации, в северной части региона – воздействием от нефтедобывающих промыслов. Кроме этого, существенный вклад в пылевое загрязнение населенных пунктов Томской области вносят локальные источники – преимущественно угольные котельные.
2. Наиболее высокие содержания в пробах нерастворимой фазы снега ряда тяжелых металлов, редких, редкоземельных и радиоактивных элементов характерны для окрестностей угольных котельных в сравнении с котельными на газе и древесном топливе.
3. Пространственная конфигурация ореолов пылевого загрязнения территории Томской области повторяет структуру ртутной нагрузки на территорию региона, при этом наиболее контрастные ореолы ртутной нагрузки установлены на территории южных, юго-западных и северных районов области.
4. Воздействие выбросов Томской ГРЭС-2 отражается в особенностях элементного состава нерастворимой фазы снега из ее окрестностей, изменениях свойств подвижности химических элементов-индикаторов в системе «твердый осадок снега – снеготалая вода», а также в параметрах ионного состава снеготалой воды. Наиболее интенсивное воздействие Томской ГРЭС-2 установлено в условно ближней зоне – на удалении до 1 км от высотных труб теплоэлектростанции.
5. Выбросы Томской ГРЭС-2 являются источником накопления сферических техногенных образований, рентгеноаморфного сажистого вещества и мелкодисперсной угольной пыли в снежном покрове в ее окрестностях.
6. Минеральными формами нахождения металлов и металлоидов в нерастворимой фазе снега в окрестностях Томской ГРЭС-2, а также других территорий Томского региона являются собственно самородная, интерметаллическая, оксидная и серосодержащие фазы.
7. Наибольший приток пылевых частиц с комплексом химических элементов, включая радиоактивные и токсичные металлы, в окрестностях Томской ГРЭС-2 формируется в результате сжигания угля. Для снижения их возможного негативного влияния на здоровье людей, проживающих вблизи теплоэлектростанции, целесообразно предусмотреть увеличение доли природного газа в топливном балансе Томской ГРЭС-2 в зимние сезоны, а также улучшить систему пылеподавления при разгрузке, хранении и транспортировке угля, например, посредством сооружения закрытого угольного штабеля.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:

1. 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.
2. Филимоненко, Е. А. Особенности вещественного состава пылевых атмосферных выпадений в зоне воздействия предприятия топливно-

энергетического комплекса (на примере Томской ГРЭС-2) / **Е. А. Филимоненко**, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25. – № 10. – С. 896-901.

3. **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. – № 8-3. – С. 760-765.

4. 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.

5. Язиков, Е. Г. Состав пылеаэрозолей и оценка экологического риска в зоне влияния предприятий нефтегазового комплекса / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская, Н. А. Осипова, **Е. А. Филимоненко** // Газовая промышленность. – 2013. – № 12 (699). – С. 82-85.

6. 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.

7. 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, геоэкология. – 2014. – № 5. – С. 408-417.

8. 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.

Публикации в зарубежных научных журналах и изданиях, включенных в библиографические базы Web of Science и Scopus:

1. Talovskaya, A. V. Toxic elements (As, Se, Cd, Hg, Pb) and their mineral and technogenic formations in the snow cover in the vicinity of the industrial enterprises of Tomsk / A. V. Talovskaya, **E. A. Filimonenko**, N. A. Osipova, E. E. Lyapina, E. G. Yazikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2014. – V. 21. – № 1. – P. 1-5.

2. **Filimonenko, E. A.** Eco-geochemical peculiarities of mercury content in solid residue of snow in the industrial enterprises impacted areas of Tomsk / E. A. Filimonenko, E. E. Lyapina, A. V. Talovskaya, I. A. Parygina // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2014. – V. 9292. – Article number 929231. – P. 1-6.

3. Talovskaya, A. V. Contamination monitoring of snow cover in the vicinity of Tomsk petrochemical plant / A. V. Talovskaya, **E. A. Filimonenko**, E. G. Yazikov, L. V. Nadeina // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2014. – V. 9292. – Article number 929236. – P. 1-6.

4. 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. – P. 1664-1685.

Патенты:

1. Способ определения загрязненности снегового покрова радиоактивными компонентами: Патент № 2453869 Россия, МПК G 01 T 91/169 / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская, А. Ф. Судыко, **Е. А. Филимоненко**, Заявитель и патентообладатель Томский политех. ун-т. – №2011100193/28; заявл. 11.01.2011; опубл. 20.06.2012.

Основные публикации в других научных изданиях:

1. **Филимоненко, Е. А.** Минерально-вещественный состав пылеаэрозолей в зоне воздействия ГРЭС-2 (г. Томск) / **Е. А. Филимоненко** // Сборник докладов XII научного Семинара «Минералогия техногенеза–2011». – Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. – С. 317-321.

2. **Филимоненко, Е. А.** Геохимический состав пылеаэрозолей южных районов Томской области / **Е. А. Филимоненко**, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде». – Семей: СГПИ, 2012. – Т. 2. – С. 301-308.

3. Таловская, А. В. Изучение загрязнения снегового покрова пылеаэрозолями в Томской области / А. В. Таловская, **Е. А. Филимоненко**, Е. Г. Язиков // Материалы Международного Конгресса «Экология северных территорий». – Новосибирск: «Офсет», 2012. – С. 264-272.

4. Таловская, А. В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снежного покрова / А. В. Таловская, **Е. А. Филимоненко** // Материалы годичной сессии Научного совета РАН «Устойчивое развитие: задачи геоэкологии». – Москва: РУДН, 2013. – Т. 15. – С. 353-359.

5. Таловская, А. В. Динамика содержания и формы нахождения элементов в снеговом покрове в зоне влияния предприятий ядерно-топливного цикла (на примере Томского региона) / А. В. Таловская, **Е. А. Филимоненко** // Материалы VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов). – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2014. – С. 268-269.