



ПРОСЕКИН СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА УРБАНИЗИРОВАННЫЕ
ТЕРРИТОРИИ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА СРЕДСТВАМИ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

25.00.35 – Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН).

Научный руководитель:

Бычинский Валерий Алексеевич

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН), доцент Иркутского Государственного университета (ФГБОУ ВО ИГУ)

Официальные оппоненты:

Гаськова Ольга Лукинична

доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН)

Качор Ольга Леонидовна

доктор технических наук, доцент Иркутского национального исследовательского технического университета (ФГБОУ ВО ИРНИТУ)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук (ИГ СО РАН), г. Иркутск

Защита диссертации состоится 20 октября 2021 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 002.122.02 в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН по адресу: 119017 г. Москва, пер. Старомонетный, 35.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИГЕМ РАН <http://igem.ru/>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 002.122.02, к.г.-м.н.
achefra@mail.ru



А.В. Чефранова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Составляющие окружающей среды (атмосфера, почвы, воды, живые организмы) испытывают воздействие техногенной нагрузки промышленных предприятий, являющихся источниками антропогенного воздействия. Совершенствование технологий производства и систем очистки промышленных выбросов обуславливает изменения состава газопылевых выбросов и степень их воздействия на природную среду. В частности, в производстве алюминия совершенствуются системы газоочистки, используются самообжигающиеся аноды, снижающие выбросы в атмосферу, меняются источники сырья, поступающие с различных месторождений. Это приводит к необходимости совершенствования способов контроля текущего состояния окружающей среды вблизи промышленных территорий. Развитие геоинформационных систем (ГИС) позволяет представить масштабы и степень техногенной нагрузки на исследуемую территорию.

Поэтому представляется актуальным совершенствование методов количественной оценки состава техногенного загрязнения природной среды, основанное на ГИС, которое позволит перейти к новому уровню изучения окружающей среды – мониторингу почв, растительности, вод и снегового покрова, выделить динамику изменения полей распределения изучаемых факторов.

На наш взгляд в геоэкологических исследованиях уделяется недостаточно внимания изучению форм существования элементов в газопылевых выбросах, атмосферных водах, редко анализируется и минеральный (фазовый) состав твердых аэрозолей. Формы существования элементов во многом определяют реальную экологическую опасность техногенного воздействия, накопление компонентов в почвах их вынос из зоны загрязнения поверхностными и грунтовыми водами и в результате атмосферного переноса. Сочетание ГИС и физико-химического моделирования (ФХМ) позволяет определить формы миграции и накопления наиболее опасных веществ, оценить динамику изменения состояния окружающей среды и открывает новые возможности геоэкологического мониторинга, позволяющие получать количественную оценку уровня загрязнения урбанизированных территорий и прогнозировать кратковременные и долговременные последствия этого воздействия.

Цель работы – разработка методики проведения геоэкологического мониторинга средствами геоинформационных систем и физико-химического моделирования процессов преобразования газопылевых выбросов в компонентах окружающей среды, определение степени потенциальной опасности техногенного воздействия на экосистему в целом.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- проанализировать материалы ранее проведенных исследований и построить карты распределения компонентов в окружающей среде в окрестностях промышленных зон конкретных объектов Иркутско-Шелеховского района: Иркутского алюминиевого завода (ИрАЗ), Ново-Иркутской ТЭЦ и транспортных систем, необходимые для предварительной геоэкологической оценки;

- разработать методику оценки техногенной нагрузки, позволяющую определять масштабы геохимических аномалий, идентифицирующих источники загрязнения, и оценить тенденции изменения этих аномалий, в том числе и после завершения действия источника;

- разработать физико-химическую модель взаимодействия пылеаэрозолей, природных вод и почв;

– определить преобладающие формы существования опасных и токсичных элементов в основных компонентах окружающей среды (почвы, природные воды, атмосфера);

– разработать методику оценки техногенной нагрузки средствами ГИС и ФХМ.

Научная новизна работы.

- Разработана методика оценки степени техногенного воздействия на основе программных средств физико-химического моделирования и геоинформационных систем, позволяющая определить площади техногенных геохимических аномалий и прогнозировать геоэкологические риски.

- Предложена структура геоинформационной системы, реализующая представление результатов физико-химического моделирования взаимодействия техногенных аэрозолей, природных вод и почв в виде пространственно-распределенных полей аномалий.

- С помощью физико-химического моделирования установлены формы токсичных элементов (оксиды, гидроксиды, фториды, хлориды и другие комплексные соли) на территории Иркутско-Шелеховского района и построены карты распределения их концентраций.

Фактический материал и личный вклад. Фактический материал основан на данных, полученных автором в геоэкологических исследованиях, проведенных в Шелеховском и Иркутском промышленных районах Институтом геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Автор принимал участие в полевых работах с 2013 по 2017 гг. Основные результаты, изложенные в работе, получены лично диссертантом. Постановка задач, обсуждение методов, результатов и подготовка материала для публикаций проводилась совместно с научным руководителем и соавторами работ. Личный вклад автора в большинстве публикаций является определяющим.

Практическая значимость работы. Результаты исследований особенностей распределения токсичных элементов в снеговом покрове и почвах г. Шелехов включены в раздел Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 г: «Научные исследования для решения проблем охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности». Разработанные методы могут быть использованы геоэкологическими службами промышленных предприятий для оценки степени техногенного воздействия и прогнозирования геоэкологических рисков.

Полученные результаты являются частью исследований, проведенных в рамках проекта РФФИ и Правительства Иркутской области № 20-45-383003. Исследования выполнены в соответствии с тематическими планами ИГХ СО РАН № 0350–2014–0010, № 0350–2016–0033, № 0350–2019–0011 и № 0284-2021-0002.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель загрязнения территорий Прибайкальского региона газопылевыми выбросами алюминиевой промышленности и предприятиями теплоэнергетики, которая позволяет установить элементы-идентификаторы источников загрязнения и закономерности формирования геохимически когерентных ассоциаций токсичных элементов в урбанизированных зонах и обеспечивает определение особенностей протекания геоэкологических процессов.

2. Информативные признаки системы «техногенные аэрозоли – природные воды – почвы»: основные физико-химические закономерности преобразования органического вещества почв (гумуса) под воздействием техногенных аэрозолей и формы существования элементов, в которых они мигрируют и концентрируются в почвах и природных водах.

3. Методы пространственной интерполяции, основанные на специализированной базе данных для обработки результатов физико-химического моделирования техногенных процессов системы «аэрозоли – природные воды – почвы» позволили получить информацию о геоэкологических параметрах состояния компонентов окружающей среды и построить образ геохимического поля для интерпретации результатов геохимического картирования. Термодинамическое моделирование позволяет принять оптимальные управленческие решения на основе экологических параметров и пространственных отношений.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследования были представлены и обсуждались на следующих конференциях: «Modern Information Technologies in Earth Sciences: Proceedings of the International Conference» (Владивосток, 2014 г.), VII Сибирская научно-практическая конференция молодых ученых по наукам о Земле с участием иностранных специалистов (Новосибирск, 2014 г.), «Геонауки: актуальные проблемы изучения недр» (Иркутск, 2015 г.), конференция молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2015 г.), международная молодежная научно-практическая конференция «Россия-Монголия» (Иркутск, 2016 г.), международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2016 г.), конференция «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2017 г.), XXVII Всероссийская молодежная конференция с участием исследователей из других стран «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2017 г.), «Геонауки: актуальные проблемы изучения недр» (Иркутск, 2018 г.), Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке (Томск, 2020 г.). По результатам диссертационной работы имеется 23 публикации, в том числе 4 статьи в журналах из перечня изданий, рекомендуемых ВАК, 2 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных Web of science и Scopus.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка сокращений, изложенных на 154 страницах машинописного текста, содержит 19 таблиц, 48 рисунков и список литературы, насчитывающий 249 наименований, из которых 44 иностранных.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю – кандидату геолого-минералогических наук, старшему научному сотруднику Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН Бычинскому Валерию Алексеевичу за содействие на всех этапах исследования. Признателен заведующему лабораторией геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования Чудненко Константину Вадимовичу и сотрудникам этой лаборатории за помощь в работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель исследования и научные задачи, изложены результаты, выносимые на защиту, дается характеристика их новизны и достоверности.

Глава 1. Обоснование применения ГИС и ФХМ в оценке геоэкологического состояния окружающей среды (возможности, ограничения)

Геоинформационные системы играют большую роль в геоэкологических исследованиях, так как состояние окружающей среды в современных городах продолжает ухудшаться из-за различных видов техногенной и антропогенной нагрузки. ГИС позволяют визуально отобразить ореол загрязнения, рассчитать физические параметры пылевой нагрузки (масса пыли в пробе, площадь ареола загрязнения и время

накопления поллютантов), определить динамику техногенной нагрузки и предсказать возможность возникновения катастрофических ситуаций.

Несмотря на то, что на практике используется достаточное количество программных средств термодинамического моделирования, совершенствование уже имеющихся программных средств расчета физико-химических моделей, и разработка новых активно продолжается. В данной работе для решения задач физико-химического моделирования использовался программный комплекс (ПК) «Селектор». Он разработан в ИГХ СО РАН под руководством Карпова И.К. Его первый прототип был сделан еще в начале 70-х годов прошлого столетия в виде расчетного модуля для ЭВМ типа БСЭМ. В настоящее время ПК «Селектор» использует модификацию метода внутренних точек (МВТ), позволяющую получать сверхточные результаты. Благодаря алгоритму МВТ моделируются геохимические процессы, в которых содержание отдельных компонентов находится в ничтожно малых количествах. Результаты в большинстве случаев уникальны, поскольку не только описывают перераспределение элементов между различными фазами, но и способны рассчитать физико-химические условия этих переходов: температуру (T), давление (P), химические потенциалы, окислительно-восстановительный потенциал (Eh) и водородный показатель (pH). Однако результаты представляются в виде текстовых файлов и не позволяют быть интерпретированы, так как матрица многомерна. Требуется пространственный анализ, в связи с этим осуществлено сопряжение ГИС, геоэкологического мониторинга и ФХМ. Предлагается вариант решения задачи визуализации результатов моделирования в картографическом виде, что позволяет привязать ореолы концентрации именно форм химических элементов к их источнику и увидеть направления их миграции.

Важной особенностью диссертационной работы является взаимодополняющее использование методов физико-химического моделирования и геоинформационных систем. Это позволяет выявлять источники загрязнения окружающей среды исследуемой территории и с помощью термодинамической модели дать прогноз последствий техногенного загрязнения, определив формы существования токсичных элементов в водном растворе и твердых фазах. Теоретически возможность согласования ГИС и ФХМ доказана в работе Абрамовой В.А. (2015), но её физико-химическая модель применима только для исследования процессов окислительного выщелачивания сульфидных руд в специфичных условиях воздействия азотсодержащих осадков, и отрицательных температур. Поэтому требуется создание моделей для исследования процессов, протекающих в более широком интервале P - T условий и химических состояв с учетом реальной геоэкологической обстановки.

Иркутским алюминиевым заводом с момента запуска производства алюминия проведено множество модернизаций, связанных с производственными показателями. Ежегодно проводятся мероприятия по снижению степени загрязнения окружающей среды. Выполнено множество исследований по изучению состояния компонентов окружающей среды, находящейся в зоне воздействия завода, и здоровья населения города Шелехова и соседних населенных пунктов.

Организационные и технологические решения позволяют снизить уровень риска в г. Шелехове до приемлемых значений. Например, внедрение современных технологий газопылеочистки, реконструкция и модернизация отопительных систем, также рекомендуется известкование почв. Решение этих задач тесно связано с определением форм существования поллютантов в газопылевых выбросах и путей их преобразования в атмосфере, почвах и природных водах, что является основной задачей данной работы.

Глава 2. Материалы и методы

Схема отбора проб, составленная с учетом физико-географических условий, представляет собой эллипс, вытянутый вдоль бортов р. Иркут. Это связано с тем, что по правому борту р. Иркут местность ограничена Олхинским плато, а альтитуда (высота над уровнем моря) левого борта превышает альтитуду промышленной площадки Иркутского алюминиевого завода на более чем 90 м. А так как максимальная высота труб ИркАЗа не более 80 м, соответственно большинство его выбросов оседают вдоль левого борта р. Иркут.

Отбор проб снегового покрова осуществлялся в 2015 г., а отбор проб почв проводился в 2015 и 2017 гг., пробы хвой сосны отбирались в 2018 г.

Отбор проб почв, хвой сосны и снежного покрова и их подготовка к анализу

В 2015 г. отобрано 10 проб почвы, а в 2017 г. – 8 проб, две из которых в тех же местах, что и в 2015 г. Также в 2017 г. отобрано 2 почвенных разреза глубиной 50 см. С каждого разреза отобрано по 5 проб почв с разных интервалов глубин: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 и 40-50 см. Образцы вырезались ножом в виде брусков размером примерно равным $10 \times 10 \times 10$ см, начиная с самого нижнего.

Пробы почв отбирались из предварительно очищенного от верхнего дернового слоя поверхностного интервала 0-10 см. Масса объединенной пробы составляла не менее 1 кг. Пробоподготовка состояла из просушивания при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, затем удалялись включения (камни, корни, стекло и т.п.), пробы просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм, растирались и взвешивались.

Сбор образцов хвой проводили в конце вегетационного периода (август) с пяти модельных деревьев. Образцы просушивали в сушильном шкафу при температуре 80 °С, затем измельчали до состояния «пудры».

Отбор проб снега производили в период его максимального накопления (конец февраля – начало марта) перед началом его подтаивания. Отбор осуществлялся на всю глубину снежного пласта, за исключением пятисантиметрового слоя над почвой, специальными поливиниловыми пробоотборниками в полиэтиленовые пакеты. В 2015 г. отобрано 37 проб снегового покрова.

Таяние проб снега проводилось при комнатной температуре, снеговая вода фильтровалась, твердый осадок высушивался, просеивался и взвешивался. Проанализировано 37 проб снеговой воды, 37 проб твердого осадка, 28 проб почв и 13 проб хвой сосны.

Гидрохимический анализ снеговых вод на содержание K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , HNO_3^0 , Cl^- и SO_4^{2-} проводили комплексом общепринятых методов. Массовая концентрация фтора в твердом осадке снега и почвах определялась фотометрическим методом, серы – йодометрическим методом, величина pH потенциометрическим методом.

Состав твердого остатка снега определялся методом количественного дугового атомно-эмиссионного анализа по способу полного испарения вещества из канала графитового электрода. Содержание F определялось по индивидуальной методике введения порошков в дуговой разряд способом вдувания-просыпки. Контроль точности результатов атомно-эмиссионных методик осуществлялся с помощью государственных стандартных образцов золы энергетических углей и почв.

Содержание фтора в почвах определено методом потенциометрии. С помощью методики, основанной на явлении возникновения концентрационного электрического

потенциала на границе ионселективного электрода и раствора содержащего ионы фтора на приборе «Экотест-2000».

Методом рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (РСМА) на микроанализаторе Superprobe JXA-8200 (JEOL Ltd, Япония) проведено исследование минеральной составляющей твердых осадков снегового покрова и почв, с целью поиска и определения в указанных природных сопряженных средах близких по природе и составу техногенных минеральных фаз.

Определение элементного состава хвои выполняли неdestructивным методом рентгенофлуоресцентного анализа на волноводисперсионном спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия).

Вещественный состав газопылевых выбросов

В процессе сжигания углей котельными и теплоэлектростанциями образуются токсичные и экологически вредные соединения: CO, COS, SO₂, NO, SO₃ NO₂, HCN, CS₂, H₂S и S₂. Мышьяк переходит в газообразную форму при температурах от 900 °C (As₂ и As₃), газообразные соединения меди (Cu и CuO) образуются при T>1100 °C, Ni (Ni и NiS) при T>1200 °C. Газовые соединения кадмия (Cd и CdS) существуют в интервале температур от 700 °C до 900 °C. В энергетической золе преобладают следующие соединения - это кварцевое стекло, муллит, магнетит, ферросилит, кордиерит.

Для получения 1 тонны алюминия требуется от 20 до 45 кг фтора. В отходящих газах электролиза обнаружены NaAlF₄, AlF₂O, HF, AlF₃, SiF₄ и др., углерод и серосодержащие вещества CO₂, CO, COS, SO₂, H₂S, HF, COF₂ и CF₄, твердые аэрозоли выбросов алюминиевого производства представлены криолитом, оксидом алюминия, хиолитом, углеродом, сульфатом натрия, эльпасолитом, флюоритом, фторидами натрия, магния, алюминия, оксидами железа и кремния.

Опасность автотранспорта как источника выбросов, прежде всего в том, что токсичные вещества поступают в приземный слой атмосферы, в котором плохо рассеиваются. В твердых компонентах выхлопных газов присутствуют V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb.

Минеральный состав почв и твердого осадка снега

Методом РСМА в режиме растрового электронного микроскопа во вторичных и обратно рассеянных электронах проведено исследование минерального состава почв и твердого осадка снега в пробах, отобранных в непосредственной близости ИркаЗа с целью обнаружения минеральных фаз, имеющих техногенное происхождение.

Результаты исследований показали, что твердый осадок снегового покрова и почвы представляют собой смесь частиц и их конгломератов различной формы и размеров. Матрица исследуемых образцов неоднородна, по ней наблюдаются темные (чёрные), темно-серые, серые, светло-серые, светлые и яркие частицы и их конгломераты правильной, огранённой формы в виде треугольников, прямоугольников, трапеций, а также сферической и неправильной формы. Размер частиц по образцам в среднем изменяется от 2 до 150-200 мкм. Наблюдается много мелких частиц размером меньше мкм.

Элементный состав большинства частиц представлен силикатной составляющей с высоким содержанием Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, что связано с присутствием таких минералов как кварц, гиббсит, альбит, полевои шпат, шпинель, это темно-серые, серые, светло-серые, светлые огранённые частицы. Наряду с ними, в образцах обоих сред присутствуют темные (чёрные) огранённые частицы и конгломераты неправильной формы с высокими содержаниями углерода, и содержание Mg, Al, Si не велики.

Возможно присутствие карбидов. Необходимо отметить наличие светло-серых, светлых, ярких сферических частиц, с высоким содержанием С, Mg, Al, Si, Ca, Ti и Fe.

Геоинформационные методы

Сбор, накопление и обработка геохимической информации выполняются в соответствии с предлагаемыми методами анализа геоэкологического состояния окружающей среды. Применение методов геостатистики для выявления геохимических аномалий позволяет их ранжировать по степени экологической опасности.

Обработка аналитических данных проводилась с помощью Microsoft Excel и Statistica, расчет статистических, аддитивных и мультипликативных показателей осуществлялся на уровне системы управления базами данных (СУБД) (PostgreSQL/PostGIS) посредством процедур на языке PL/pg SQL. Факторный анализ был выполнен в программном пакете для статистического анализа Statistica. Кластерный анализ выполнялся при помощи надстройки «Cluster» для Microsoft Excel. В данной надстройке есть возможность Q и R типа анализа. Благодаря этому удалось определить ассоциации элементов, характерных для различных источников загрязнения, функционирующих на исследуемой территории.

Графические материалы были получены с помощью программ RStudio Desktop и SAGA GIS, карты и карты-схемы были подготовлены, построены и обработаны в QGIS. Для построения полей распространения элементов использовались геоалгоритмы программ SAGA GIS, интегрированные в QGIS в качестве дополнительного модуля. На основании изучения литературных данных и проведенных оценок выбран наиболее оптимальный метод интерполяции - Ordinary Kriging.

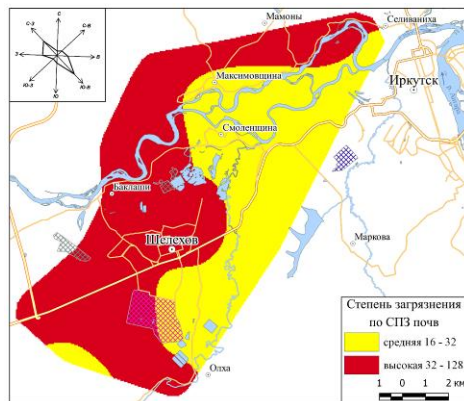


Рисунок 1 – Схема пространственного распределения значений СПЗ почв Иркутско-Шелеховского района

Суммарный показатель загрязнения (СПЗ) почв (Рисунок 1), показывает, что территории г. Шелехов, с. Баклаши и с. Мамоны характеризуются высокой степенью загрязнения. Территории г. Иркутск, с. Максимовщина и с. Смоленщина соответствуют средней степени загрязнения почв согласно классификации Саета Е.Ю. и др. (1990).

По значениям СПЗ твердого осадка снега высокая степень загрязнения свойственна зоне Иркутского алюминиевого завода, средняя характеризует частный сектор. В целом, исследуемая территория характеризуется средней степенью загрязнения (Рисунок 2).

Величина среднесуточной пылевой нагрузки на территорию Иркутско - Шелеховского района изменяется от 17 мг/(м²×сут) до 351 мг/(м²×сут) (Рисунок 3). При сравнении с нормативными показателями величина пылевой нагрузки на исследуемую территорию изменяется от низкой (менее 250 мг/(м²×сут)) до средней степени загрязнения (250-450 мг/(м²×сут)). Средняя величина пылевой нагрузки на данную территорию составляет 74 мг/(м²×сут).

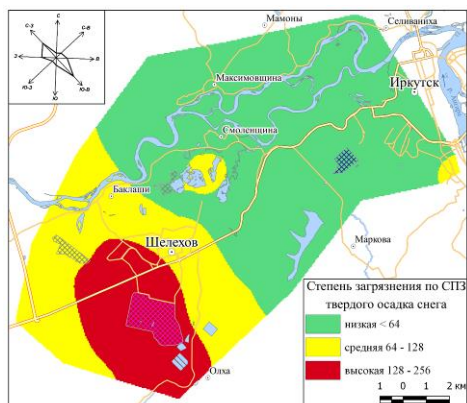


Рисунок 2 – Пространственное распределение значений СПЗ Иркутско-Шелеховского района по данным снегогеохимической съемки

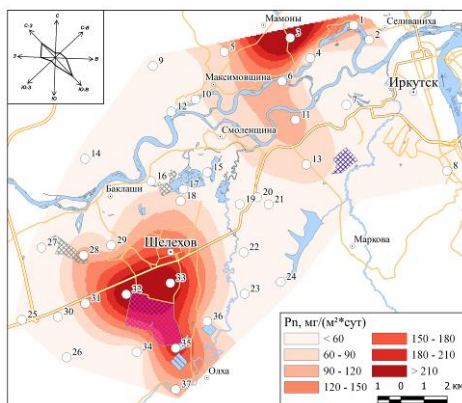


Рисунок 3 – Схема пространственного распределения величины среднесуточной пылевой нагрузки на территорию Иркутско-Шелеховского района, по данным снегового геохимического опробования, мг/(м²*сут)

Содержания почти всех макрокомпонентов в хвое сосны близко к фоновым. В точках 16 и 18, находящихся рядом с карьером, найдены повышенные содержания Si, Al, Fe и Na. Превышения фоновых содержаний Al, Fe, Mg и Cl наблюдаются в районе очистных сооружений ИркаЗа (точка 36). Повышенные содержания Si, Al и Na наблюдаются в пробах вблизи завода (точки 32, 33, 34 и 35). В исследуемом районе высокие содержания Si, Al и Na в хвое сосны свидетельствуют о влиянии выбросов ИркаЗа. Известно, что повышенные концентрации Al в растениях являются показателем деградации растительности, вызванной деформацией кроны и стволов деревьев, ослаблением роста.

В хвое сосны характерна корреляция между содержаниями Al, Fe, Na и Si, которые являются одними из основных компонентов газопылевых выбросов ИркаЗа.

Микроэлементный состав образцов хвои сосны мало отличается от фоновых содержаний. Максимальные значения коэффициента концентрации ($K_C=2-3$) в отдельных пробах имеют Ti и Ni. Ti преобладает в районе карьера (точки 16 и 18) и в районе очистных сооружений ИркаЗа (точка 36). Повышенные содержания Ni фиксируются вдоль крупных магистралей.

Пространственная дифференциация содержания фтора в почвах

Сравнительный анализ содержания валовой формы F в верхнем слое почв и его содержания в снеговой воде и твердом осадке снега исследуемой территории показывает их явное сходство (Рисунок 4). Показано, что ореолы наибольшего загрязнения F тяготеют к территории расположения алюминиевого завода и прилегающей территории.

Так как нормативы для атмосферных осадков не разработаны, уровень загрязнения снеговой воды определялся путем сравнения фактического содержания элементов с региональным фоном. В радиусе до 2 км от ИркаЗа фактическое содержание F в снеговой воде превышает фоновое в 13-21 раз. С твердыми аэрозолями фтор поступает в окружающую среду в больших количествах. K_C F в некоторых пробах твердого осадка снега превышает 200, а среднее его значение для всей территории составляет 59. F, содержащийся в твердом осадке снега, легко растворим, поэтому в процессе таяния снега он может переходить в почвенные и грунтовые воды.

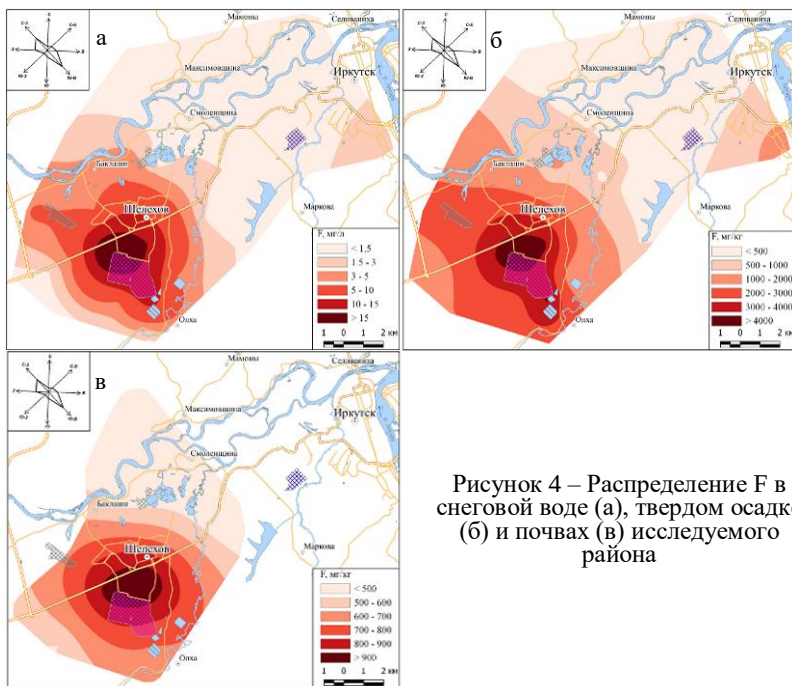


Рисунок 4 – Распределение F в снеговой воде (а), твердом осадке (б) и почвах (в) исследуемого района

Согласно работе Окорочова В.В. (1991) в почвах Земного шара средний уровень валового фтора составляет 320 мг/кг. Следовательно, в радиусе до 6 км от Иркутского алюминиевого завода в почвах территории проявляются критические содержания валового фтора, а в радиусе до 2 км – недопустимые.

Загрязнение снеговой воды, твердого осадка снега и почв фтором формирует фторидную аномалию, включающую г. Шелехов, сс. Олха и Баклаши.

Глава 3. Физико-химическое моделирование преобразования газопылевых выбросов в окружающей среде. Формы накопления

Физико-химическая модель включает в себя: C, Cd, Cl, N, S, Sc, As, Hg, Li, Sb, Sn, Sr, B, Be, Ca, Cr, F, Ni, P, Pb, Rb, Al, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Si, V, Zn, H, O, e (e – электрон, всего 31 независимый компонент), 850 зависимых компонентов: 41 газов, 337 водных растворов, 472 твердых фаз. Термодинамические характеристики всех компонентов взяты из баз данных программного комплекса «Селектор». В последнее время появились данные по термодинамическим свойствам фульвокислот и их комплексов с металлами. Следовательно, расчет равновесного состава почвенных растворов не только существенно расширяет представления о формах и содержании элементов в водной фазе, но и позволяет получить новые данные о взаимодействии этих растворов с гумусом, оценить устойчивость органического вещества к внешним воздействиям.

ПК «Селектор» включает блок, позволяющий рассчитывать стехиометрические формулы твердых минеральных растворов и гумусовых веществ. Термодинамические свойства индивидуальных веществ, необходимые для расчетов, взяты из встроенных в ПК баз данных.

Исследования проводились в зоне воздействия Иркутского алюминиевого завода, где почвенный покров представлен серыми почвами средне- и легкосуглинистыми с

малой мощностью гумусового профиля. Для почв характерно длительное промерзание, близкая к нейтральной реакция среды, низкая степень оподзоленности.

Физико-химические свойства исследуемых почв, определяли по методикам, описанным в работах Соколовой А.В. (1975) и Аринушкиной Е.В. (1970). По содержанию гумуса почвы зоны техногенеза уступают естественным, что объясняет более низкую буферную способность. Максимальное количество обменных катионов приурочено к гумусовым горизонтам почв.

Поскольку продукты газопылевых выбросов поступают в почвы в основном в виде твёрдых фаз, то для перехода в нижележащие горизонты требуется время на их взаимодействие с почвенными растворами. Именно поэтому большая часть загрязняющих веществ задерживается на поверхности, а легкорастворимая перемещается вглубь по почвенному профилю.

Согласно исследованиям Орлова Д.С. (1990) усредненную формулу стехиометрической ячейки гуминовой кислоты можно записать как $C_{14-18}H_{14-19}O_{6-9}N$. На основе этих стехиометрических соотношений по общему химическому составу гумуса серой почвы рассчитана формула гуминовой кислоты для данного образца.

Термодинамические свойства стехиометрической формулы ячейки гуминовой кислоты определили по методике, описанной в монографии Шобы В.Н. и Карпова И.К. (2004). Результаты оценки степени изменения исходного состава гумусово-аккумулятивного горизонта почвы количественно характеризуют преобразования, произошедшие в почвенном растворе, гумусовом веществе и минеральных фазах почв (Таблица 1). Показано, что состав органической составляющей гумуса в моделях с разной техногенной нагрузкой качественно сходен между собой, однако, общее количество адсорбированных элементов существенно отличается.

Таблица 1 – Изменение сорбционных свойств гумуса под воздействием газопылевых выбросов

СПП	Стехиометрическая ячейка гумусовых веществ
7	$C_{20}H_9O_9N(K_{0.014}Na_{1.447}Ca_{0.629}Fe_{0.022}Mg_{0.041}Al_{0.04})$
6	$C_{20}H_9O_9N(K_{0.014}Na_{1.447}Ca_{0.629}Fe_{0.022}Mg_{0.041}Al_{0.04})$
5	$C_{20}H_9O_9N(K_{0.014}Na_{1.447}Ca_{0.629}Fe_{0.022}Mg_{0.041}Al_{0.04})$
4	$C_{20}H_9O_9N(K_{0.014}Na_{1.447}Ca_{0.628}Fe_{0.022}Mg_{0.041}Al_{0.04})$
3	$C_{20}H_9O_9N(K_{0.013}Na_{1.448}Ca_{0.619}Fe_{0.024}Mg_{0.041}Al_{0.044})$
2	$C_{20}H_9O_9N(K_{0.013}Na_{1.466}Ca_{0.539}Fe_{0.038}Mg_{0.041}Al_{0.073})$
1	$C_{20}H_9O_9N(K_{0.008}Na_{1.592}Fe_{0.108}Mg_{0.031}Al_{0.303})$

Примечание – СПП - степень протекания процесса

В физико-химической модели степень протекания процесса (СПП) – это число обозначающее часть твердого осадка, вступившего во взаимодействие со снеговой водой. СПП изменяется от бесконечно малой величины $n \times 10^{-7}$ до полного растворения всего накопленного осадка n , где n – число грамм твердого осадка, приходящегося на 1 литр снеговой воды на данном участке.

Учитывается относительное время взаимодействия твердых аэрозолей с почвой. Заложены количественные параметры поступления поллютантов за годовой период (содержание в снеговом покрове, поступление в летний период). При этом масса почвы и почвенного раствора не меняется. На каждом следующем шаге моделирования (СПП) количество пылеаэрозолей, взаимодействующих с почвой, возрастает, т.к. поступление происходит не одновременно, а в течение года. В естественных условиях эта стадия не достигается, процесс замирает на 2-3 степени протекания. До 80 % компонентов (кроме F и Na) остается неизменным (Рисунок 5).

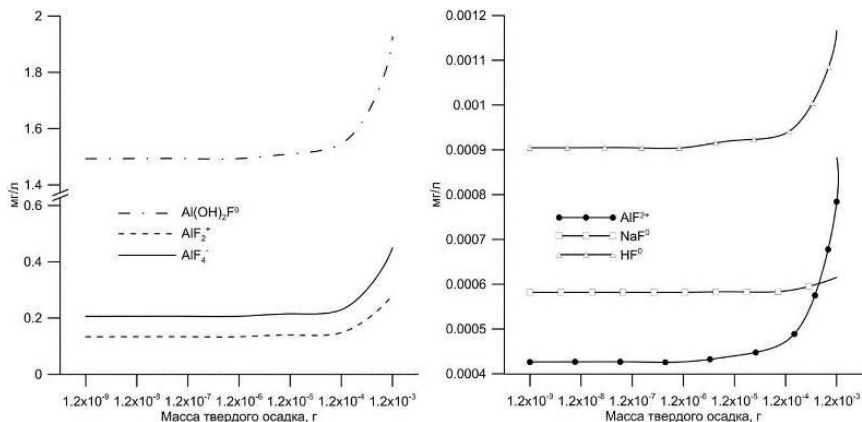


Рисунок 5 – Состав фторидов в водных растворах серых почв, при поступлении годовичного количества загрязняющих веществ

Этот этап сопровождается незначительным увеличением pH с 5.6 до 5.75, и существенным ростом таких ионов как $\text{Al}(\text{OH})_2\text{F}^0$, AlF_2^+ и HF^0 , увеличением количества смешаннослойных алломосиликатов – смектитов и хлоритов минералов с 43 до 51 %, снижением количества мусковита от 14 до 12 % и гумуса от 3.4 до 3.3 %. Наряду с закономерным усилением кислотного гидролиза изменяется состав вновь образующихся слоистых минералов. В них уменьшается доля K, Na, Ca, при относительном увеличении Fe, Mg и Si. Поскольку основными компонентами газопылевых выбросов являются Al, Na и F происходит накопление фторапатита и, на завершающих стадиях, флюорита (Рисунок 6). Вследствие этого происходит снижение содержания карбонатов.

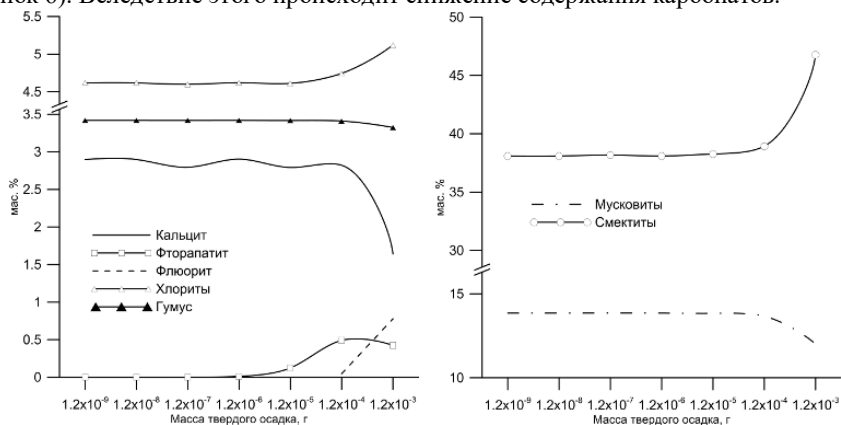


Рисунок 6 – Минеральный состав серых почв при поступлении годовичного количества загрязняющих веществ

Физико-химические расчеты показывают, что концентрация Al, F, Fe в почвах существенно возрастает. Вновь образующиеся слоистые минералы – смектиты отличаются большим содержанием железа (Таблица 2). Комплекс элементов, сорбированный гумусом, под воздействием поллютантов также меняется. В гумусе снижается содержание K, Mg, полностью выводится Ca, а Fe, Na и Al накапливаются.

Таким образом, в серых почвах, подверженных техногенному воздействию, протекают сложные процессы преобразования продуктов техногенеза и формирования аутигенных минералов. Решающее значение в мобилизации элементов принадлежит процессу кислотного гидролиза алюмосиликатов. Наиболее важной особенностью этого процесса является изменение состава гумуса. При этом увеличение содержания фтора и хлора в почвенном растворе не приводит к возрастанию растворимости органических веществ.

Таблица 2 – Изменение минерального состава гумусово-аккумулятивного горизонта серых почв под воздействием газопылевых выбросов

Степень протекания процесса		7	6	5	4	3	2	1
Карбонаты	$\text{Ca}_{0.95}\text{Mn}_{0.05}\text{CO}_3$	+	+	+	+	+	+	-
	$\text{Ca}_{0.92}\text{Mn}_{0.05}\text{CO}_3$	-	-	-	-	-	-	+
Мусковиты	$\text{AlFe}_{0.72}\text{KMg}_{0.29}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	+	+	+	+	+	-	-
	$\text{AlFe}_{0.76}\text{KMg}_{0.24}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-	-	-	-	-	+	-
	$\text{AlFeKMg}_{0.005}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-	-	-	-	-	-	+
Смектиты	$\text{Fe}_{0.36}\text{Al}_{1.64}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	+	+	+	+	+	-	-
	$\text{Fe}_{0.33}\text{Al}_{1.67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-	-	-	-	-	+	-
	$\text{Fe}_{0.19}\text{Al}_{1.81}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-	-	-	-	-	-	+
Хлориты	$\text{Al}_4\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	+	+	+	+	+	+	+

Примечание – «+» - минерал присутствует; «-» - минерал отсутствует

Особенности загрязнения окружающей среды выбросами алюминиевых производств

При условии присутствия в техногенных пылеаэрозолях Al_2O_3 на первых стадиях будут образовываться гиббсит и каолинит, а исходные минералы частично разрушаться. Поскольку фтор и фосфор в выбросах присутствуют в виде высокорастворимых аморфизированных фаз, не обнаружаемых методом рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (NaAlF_4 , AlF_2O , HF , AlF_3 , SiF_4 и др.), они практически полностью растворяются с образованием флюорита и фторапатита.

Высокая степень внутренней согласованности термодинамических параметров индивидуальных компонентов позволяет рассматривать предложенную модель как высокоточный способ определения форм существования элементов в растворе и твердых фазах.

В результате применения методов физико-химического моделирования удалось определить формы существования потенциально токсичных элементов в водном растворе и те минеральные фазы, в которых эти элементы могут накапливаться впоследствии.

Глава 4. Картирование изменения техногенной нагрузки в зависимости от форм накопления химических элементов

Структура геоинформационной системы

Исходя из цели и задач данной работы, разработан алгоритм оценки техногенной нагрузки средствами геоинформационных систем и физико-химического моделирования. На сайте earthexplorer.usgs.gov был скачан космоснимок, на основании которого были векторизованы основные загрязнители исследуемой территории. Затем выполнялась оцифровка необходимой информации. Из открытого веб-картографического проекта OpenStreetMap были взяты векторные слои автомобильных и железных дорог, гидросеть и расположение и названия населенных пунктов. Каждая точка опробования имеет десятки данных атрибутивной информации, которую необходимо хранить и обрабатывать. Статистические расчеты (минимальное, среднее и максимальное значения, стандартная ошибка среднего, медиана и т.д.) и расчеты

аддитивных и мультипликативных показателей (коэффициенты концентрации, суммарный показатель загрязнения, среднесуточная пылевая нагрузка) выполнялись на уровне СУБД и заносились в базу данных. Далее осуществлялось картографирование и анализ распространенных интегральных показателей качества среды. На следующей стадии были исследованы процессы взаимодействия техногенных выбросов с почвой методами физико-химического моделирования. На последней стадии было выполнено объединение всех данных и программных средств в единую геоинформационную систему (Рисунок 7).

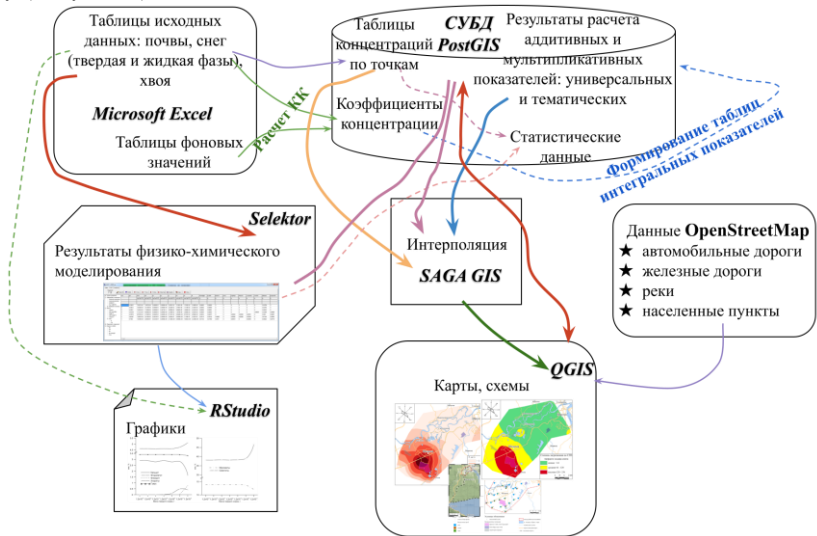


Рисунок 7 – Структура геоинформационной системы

База данных исследований состоит из разнородной информации, представленной результатами анализов, статистическими данными, фоновыми и литературными данными, результатами физико-химического моделирования и расчета различных показателей, а также векторными данными (Рисунок 8).

Твердый осадок снега номер пробы масса осадка, г концентрации элементов	Фоновые значения по тв.ос.снега концентрации элементов	Рассчитанные показатели по тв.ос.снега номер пробы КК элементов Zc Pn статистические данные	Населенные пункты название тип
Снеговая вода номер пробы масса осадка pH TDS, мг/л Eh Ул концентрации элементов	Фоновые значения по почве концентрации элементов	Рассчитанные показатели по почвам номер пробы КК элементов Zc статистические данные	Точки пробоотбора номер пробы долгота широта высота объекты отбора
Почва номер пробы концентрации элементов	Литературные данные источник среда опробования концентрации элементов	Результаты ФХМ номер пробы pH TDS концентрации элементов и форм	Дороги название тип
Хвоя номер пробы концентрации элементов			Промышленные площадки название тип площадь объекта
			Реки название тип

Рисунок 8 – Структура и состав базы данных

Геоинформационная система состоит из нескольких подсистем: ввода и хранения (БД исследований); физико-химического моделирования (расчет физико-химических моделей преобразования газопылевых выбросов в окружающей среде); анализа, обработки и визуализации (анализ и обработка имеющихся данных в ГИС-проектах, созданных в QGIS на основе всех имеющихся данных, результатов расчетов и интерполяции) (рисунок 9).

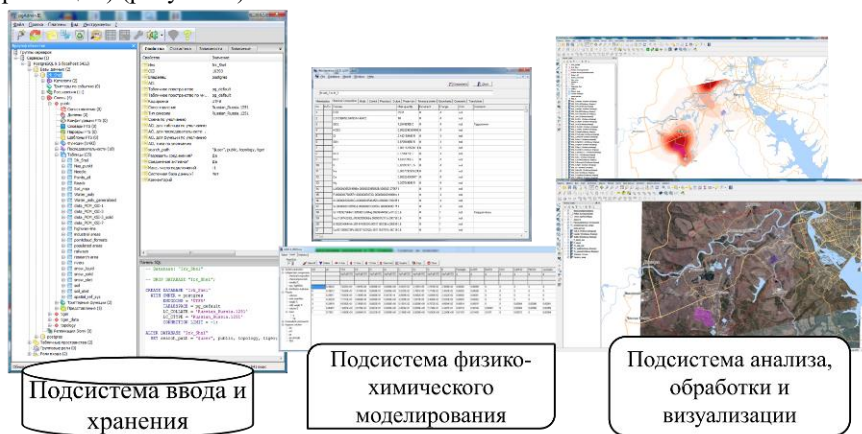


Рисунок 9 – Геоинформационная система
Картографическая оценка результатов физико-химического моделирования газопылевых выбросов

С помощью разработанной методики мы получаем возможность визуально отследить ореолы распространения именно форм элементов, а не элементов отдельно. Это позволяет нам более точно определить степень техногенной нагрузки. Многие элементы не являются токсичными, в то время как их формы относятся к таким.

На примере некоторых элементов газопылевых выбросов сравним особенности пространственного распределения содержаний валового элемента и вероятных форм его существования. Cd существует в растворе в форме Cd^{2+} , CdOH^+ , CdCl^+ (Рисунок 10). Карты техногенной нагрузки, построенные по валовым содержаниям Cd, выявляют два ореола с высокой концентрацией. Высокие концентрации CdOH^+ обнаружены только в зоне воздействия агропромышленного комплекса (с. Мамоны). Cd^{2+} и CdCl^+ имеют схожие ореолы распространения, существующие в зоне воздействия алюминиевого завода и Ново-Иркутской ТЭЦ. Таким образом, формы существования элементов позволяют оценить возможность увеличения или снижения содержания этого элемента в снеговой воде. Преобладание иона CdCl^+ свидетельствует о том, что в данном случае это газопылевые выбросы алюминиевого завода.

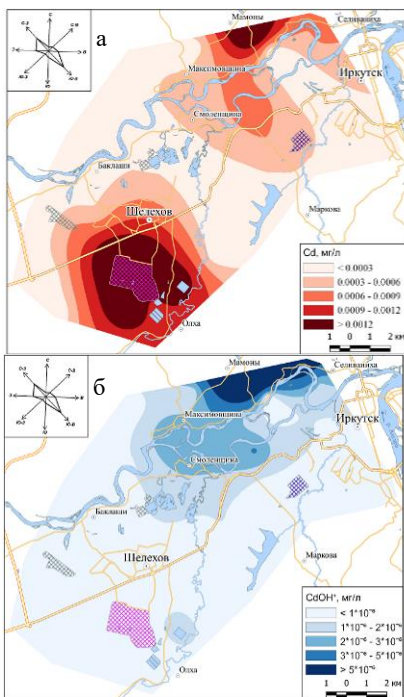


Рисунок 10 – Схемы пространственного распределения содержания Cd (a) и его форм существования – CdOH^+ (б) и CdCl^+ (в)

Анализ закономерностей распределения концентраций форм существования Ве показал, что существуют разные источники загрязнения (Рисунок 11). В снеговой воде преобладающие формы Be^{2+} и BeOH^+ имеют объединенный ореол и, соответственно, один источник распространения – алюминиевый завод. На начальных стадиях растворения (СПП 7) BeO^0 концентрируется в районе алюминиевого завода, но при увеличении степени взаимодействия (СПП 3) его ореол смещается в зону воздействия Ново-Иркутской ТЭЦ. Твердая фаза ВеО формируется только тогда, когда СПП достигает 3. При достижении СПП 1 ореол распространения этой фазы, как и растворимой формы, показывает, что основной источник – Ново-Иркутская ТЭЦ. Соединения Ве в растворе за счет образования комплексных соединений имеют более высокие содержания, чем валовое, следовательно, степень опасности возрастает. Возможность оценить масштабы этих процессов имеет огромное значение при оценке загрязнения. Возможно, что содержание его форм достигает опасных количеств и может привести к необратимым последствиям, в то время как его валовое содержание не превышает ПДК.

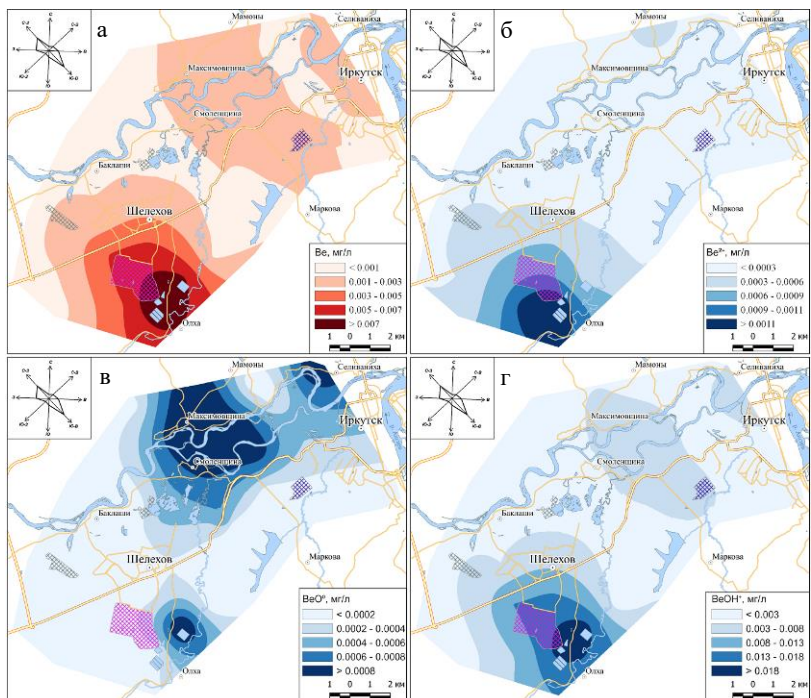


Рисунок 11 – Схемы пространственного распределения содержания Ве (а) и его форм существования – Be^{2+} (б), BeO^0 (в) и BeOH^+ (г)

Основные формы существования Al в растворе $\text{Al}(\text{OH})_2\text{F}^0$ и $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ имеют существенно отличающиеся ореолы распространения (Рисунок 12). Образование $\text{Al}(\text{OH})_2\text{F}^0$ напрямую связано с изменением содержания F и поэтому его ореол отличается от других форм.

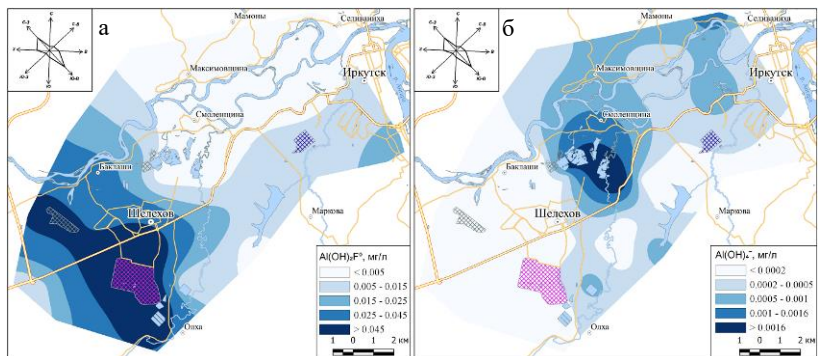


Рисунок 12 – Схемы пространственного распределения содержания $\text{Al}(\text{OH})_2\text{F}^0$ (а) и $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (б)

Твердая фаза, содержащая Al, образующаяся на начальных стадиях протекания процесса – это гиббсит. Его ореол приурочен к зоне алюминиевого завода (Рисунок 13а). Это связано с тем, что тяжелые металлические частицы оседают вблизи их источника. Каолинит образуется на более обширной территории, так как для его образования

необходим Si, поэтому ореолы его распространения свидетельствуют, что существуют 2 источника загрязнения – это алюминиевый завод и тепловая электростанция (Рисунок 136).

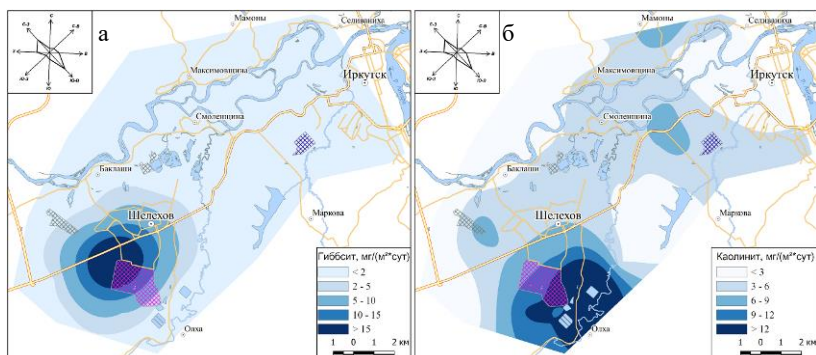


Рисунок 13 – Схемы пространственного распределения величин среднесуточного притока гиббсита (а) и каолинита (б)

Формы существования F в виде F^- и MgF^+ имеют схожие ореолы распространения, но существенно отличающиеся концентрации (Рисунок 14). Единственно возможное объяснение - это исходно низкое содержание Mg в газопылевых выбросах.

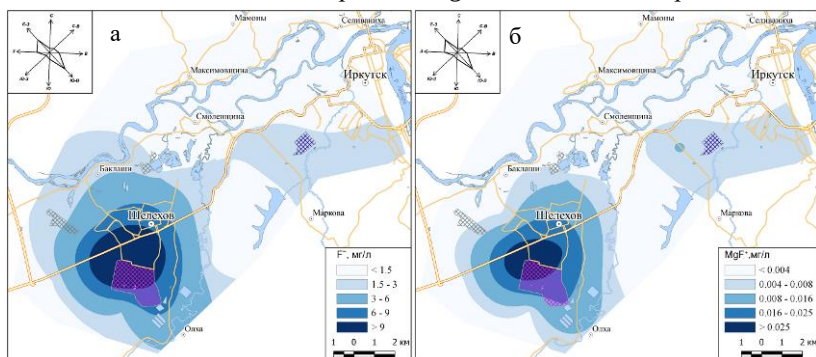


Рисунок 14 – Схемы пространственного распределения содержания F^- (а) и MgF^+ (б)

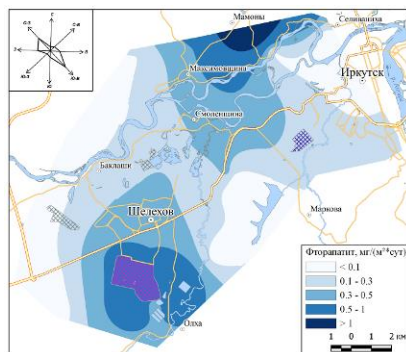


Рисунок 15 – Схема пространственного распределения величины среднесуточного притока фторапатита

Благодаря высоким концентрациям P и F на последней стадии возможно образование фторапатита (Рисунок 15). Наибольшую опасность из токсичных элементов представляют Hg, Pb и Cd.

Валовое содержание элемента дает экспрессную оценку аддитивной пылаэрозольной нагрузки. Однако реальная опасность может быть недооценена, в том случае, когда основной формой существования конкретного элемента является не простой ион, а хлорид, фосфат, сульфат или любое другое соединение.

Найдено удобное программное средство интерполяции – SAGA GIS и соответственно в его

инструментах был выбран метод, наиболее точно отображающий особенности структуры построенных полей.

Решены вопросы многомерности, благодаря факторному анализу и построенным дендрограммам корреляционного анализа удалось оперативнее найти связи между формами-спутниками и на их основе построить карты, которые ускоряют процесс анализа и обработки данных, и позволяют установить главные источники загрязнения окружающей среды на исследуемой территории.

Показано, что разработанный метод позволяет решать вопрос о причинах специфики геохимических ассоциаций элементов в промышленных выбросах, разделить источники поступления одного и того же элемента и оценить возможности его накопления в той или иной среде, определив формы его существования.

Заключение

Основной результат исследований - это методика определения техногенных геохимических аномалий и прогноза геоэкологических рисков, созданная на основе совместного использования средств геоинформационных систем и результатов физико-химического моделирования взаимодействия газопылевых выбросов ТЭЦ и алюминиевого завода с природными водами и почвами.

Предложен новый подход к интерпретации результатов физико-химического моделирования методами геоинформационных систем. Предлагаемый подход отличается следующими особенностями: результаты расчетов анализируются путем отбора множества сочетаний полученных данных о содержаниях компонентов в природных средах, наиболее полно характеризующих установившиеся в системе химическое равновесие. Ключевой операцией является выбор достаточного числа форм существования токсичных элементов в природных водах, почвах и растениях, с учетом корреляционных связей между их содержанием.

Моделирование распределения компонентов в зонах загрязнения позволило установить закономерности формирования в этих зонах геохимически когерентных ассоциаций токсичных элементов. Образ геохимического поля, который используется для интерпретации результатов геохимического картирования, становится более точным при использовании данных физико-химического моделирования в пространственной интерполяции.

Определены ассоциации элементов-идентификаторов главных источников загрязнения окружающей среды. Установлено, что для отдельных элементов (F, Be, Al) наблюдаются аномальные содержания в зонах исследования, формы их существования различны в зависимости от источника. Определены отличия загрязнения сельскохозяйственных районов, районов алюминиевой промышленности и предприятий теплоэнергетики. Установлены формы существования элементов поллютантов (оксиды, гидроксиды, фториды, хлориды и другие комплексные соли), в которых они концентрируются в природных водах и почвах. Следовательно, можно заранее предсказать какие вещества будут накапливаться в техногенных зонах, а какие выносятся вовне. Это позволяет определить миграционные способности токсичных соединений и рассчитать реальную техногенную нагрузку.

Физико-химическое моделирование процесса взаимодействия газопылеаэрозолей и снеговых вод показало, что Ni, Cu, Mn и Cr накапливаются в трудно растворимых формах, а формы F, Cd, Sr и Pb, независимо от источника загрязнения, хорошо растворимы в воде и выносятся из почв. Установлено, что уровень содержания F, Al, Be, Na и As, присутствующих в водных растворах и минеральных фазах, не представляет серьезной экологической проблемы для территорий, более чем на 6 км удаленных от Иркутского алюминиевого завода. Загрязнение окружающей среды таким

токсичными элементами как F, Be, Na в Иркутско-Шелеховском промышленном районе носит локальный характер. Анализ пространственного распределения техногенной нагрузки в Иркутско-Шелеховском промышленном районе показал, что в настоящее время возникли устойчивые локальные геохимические аномалии, позволившие установить главные источники загрязнения.

Топливо-энергетический комплекс в сочетании с частным сектором составляет окружающую среду такие элементы как Si, Al, Fe, Mg, Mn, P, Zn, Cr, Cu, Ca, Sr в основном в виде твердых аэрозолей. Выбросы Иркутского алюминиевого завода отличаются высокими содержаниями Al, As, Ni, F, Cd, Be. Снеговым водам зоны воздействия ИркаЗ свойственны высокие содержания Na, F, Be, Li, Ni, Al, As.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах перечня ВАК:

1. Паршин А.В., Будяк А.Е., Блинов А.В., Костерев А.Н., Морозов В.А., Михалев А.О., **Просекин С.Н.**, Тарасова Ю.И., Спиридонов А.М. Низковысотная беспилотная аэромагниторазведка в решении задач крупномасштабного структурно-геологического картирования и поисков рудных месторождений в сложных ландшафтных условиях. Часть 1. Описание технологии // География и природные ресурсы. – 2016. – № 6. – С. 144-149.

2. Паршин А.В., Будяк А.Е., Блинов А.В., Костерев А.Н., Морозов В.А., Михалев А.О., **Просекин С.Н.**, Тарасова Ю.И., Спиридонов А.М. Низковысотная беспилотная аэромагниторазведка в решении задач крупномасштабного структурно-геологического картирования и поисков рудных месторождений в сложных ландшафтных условиях. Часть 2. Методика и результаты апробации // География и природные ресурсы. – 2016. – № 6. – С. 150-155.

3. Паршин А.В., **Просекин С.Н.**, Аузина Л.И., Блинов А.В., Костерев А.Н., Лоншаков Г.С., Усманова А.М., Шестаков С.А., Давыденко Ю.А. Геоинформационный подход к оценке ресурсной перспективности площадей (на примере месторождений подземных вод) // Геоинформатика. – 2017. – № 1. – С. 11–20.

4. **Просекин С.Н.**, Бычинский В.А., Чудненко К.В., Амосова А.А., Знаменская Т.И. Физико-химические особенности процессов почвообразования в условиях техногенной нагрузки // География и природные ресурсы. – 2020. - № 2. – С. 71-77.

В изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science:

5. **Prosekin S.N.**, Bychinsky V. A., Chudnenko K. V., Amosova A. A., Znamenskaya T. I. Physicochemical Features of Soil-Forming Processes in Conditions of Technogenic Load // Geography and Natural Resources, 2020, Vol. 41, No. 2, pp. 159-165.

В изданиях, индексируемых в реферативной базе данных Scopus:

6. Parshin A.V., Davidenko Y.A., Budyak A.E., **Prosekin S.N.**, Lavrentieva N.A. Express methodics of geoinformational processing of geophysical and low-quality geochemical data for prospecting of gold // GeoBaikal 2016 - 4th International Conference: From East Siberia to the Pacific - Geology, Exploration and Development 4, From East Siberia to the Pacific - Geology, Exploration and Development. 2016.

Глава в Государственном докладе о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году:

7. Гребенщикова В.И., Филимонова Л.М., **Просекин С.Н.** Изучение особенностей распределения токсичных элементов в снеговом покрове и почвах г. Шелехов // Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году. – Иркутск: ООО Мегатрип, 2018. – С. 215-217.

В изданиях, индексируемых в РИНЦ:

8. **Просекин С.Н.** Оценка атмосферного загрязнения средствами геоинформационных технологий по результатам снегогеохимической съемки // Международный студенческий научный вестник. – 2014. – № 2. – С. 22-92.

9. **Просекин С.Н.** Опыт геоинформационного картографирования результатов снегогеохимической съемки // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 4-4. – С. 683-685.

10. **Просекин С.Н.,** Блинов А.В., Костерев А.Н., Шестаков С.А. Моделирование рельефа Приольхонья на основе глобальных цифровых моделей высот с оценкой их геометрической точности // Вопросы естествознания. – 2015. – № 2 (6). – С. 104-111.

11. **Просекин С.Н.,** Бычинский В.А., Филимонова Л.М. Особенности использования ГИС-технологий в решении геоэкологических проблем (оценка состояния и прогноз последствий) // Вопросы естествознания. – 2015. – № 2 (6). – С. 101-104.

12. **Просекин С.Н.,** Филимонова Л.М. Физико-химическая модель как способ геоэкологического прогноза и контроля состояния окружающей среды // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 8, № 2. – С. 200-207.

13. Филимонова Л.М., **Просекин С.Н.** Минеральный состав твердого осадка снегового покрова в зоне влияния алюминиевого завода как индикатор загрязнения окружающей среды // Вопросы естествознания. – 2018. – № 4 (18). – С. 94-99.

14. **Просекин С.Н.,** Филимонова Л.М., Бычинский В.А. Оценка воздействия алюминиевых производств на окружающую среду с помощью ГИС и ФХМ // Вопросы естествознания. – 2018. – № 2 (16). – С. 100-106.

15. **Просекин С.Н.,** Ощепкова А.В., Бычинский В.А. Современные методы оценки техногенной нагрузки на урбанизированные территории средствами геоинформационных систем и физико-химического моделирования // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. – 2020. – № 3. – С. 182-187.

В сборниках трудов:

16. **Просекин С.Н.,** Паршин А.В., Блинов А.В., Костерев А.Н., Шестаков С.А. Геоинформационное обеспечение гидрогеологических работ средствами открытых ГИС-технологий // Материалы VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного университета, 2014. – С. 423-433.

17. Parshin A.V., Filimonova L.M., **Prosekin S.N.** Methodical and technical solutions of GIS for snowgeochemical observations in the areas under diverse anthropogenic impact // Modern Information Technologies in Earth Sciences: Proceedings of the International Conference, Petropavlovsk on Kamchatka, 2014 – Vladivostok: Dalnauka, 2014. – P. 88.

18. Паршин А.В., Давыденко Ю.А., **Просекин С.Н.,** Лаврентьева Н.А., Будяк А.Е. Экспрессная геоинформационная обработка геохимико-геофизической информации при обеспечении поисково-оценочных работ на рудное золото в условиях низкого качества исходных данных и сложной морфологии рельефа // Сборник трудов 4-й международной научно-практической конференции «Геобайкал 2016: Расширяя горизонты», 2016. – 4 С.

19. **Просекин С.Н.,** Филимонова Л.М., Гомболевский Г.И. Современные методы оценки техногенного загрязнения с помощью геоинформационных систем и термодинамических моделей воздействия газопылевых аэрозолей на окружающую среду (на примере ИркА3) // Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – С. 222-224.

20. **Просекин С.Н.,** Филимонова Л.М. Исследования геоэкологических особенностей элементного состава снегового покрова методом физико-химического моделирования // Сборник научных трудов (по материалам X Международной научно-практической конференции «Геология в развивающемся мире»). Пермь: Изд-во Пермского государственного национального исследовательского университета, 2017. – С. 300-302.

21. **Просекин С.Н.,** Филимонова Л.М. Физико-химическая модель преобразования твердых аэрозолей в почвах и поверхностных водах // Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. – С. 184-185.

22. **Просекин С.Н.,** Филимонова Л.М. Геоэкологическая оценка техногенного воздействия алюминиевых производств на основе применения геоинформационных систем и физико-химического моделирования // Труды XXII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – С. 838-840.

23. Холодова М.С., **Просекин С.Н.,** Тирских Э.Н., Долгих П.Г. Особенности микроэлементного состава снегового покрова г. Усолье-сибирское // Сборник: Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, почетного члена Русского географического общества, профессора, доктора географических наук Земцова Алексея Анисимовича. 2020. С. 150-153.