

**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



На правах рукописи

Перегудина Елена Владимировна

ТЕМА РАБОТЫ

**ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ТОМСКОЙ И КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.21 - Геоэкология

Томск - 2024

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

Научный руководитель: **Барановская Наталья Владимировна**

доктор биологических наук, профессор,
профессор ОГ ИШПР ТПУ

Официальные оппоненты: **Страховенко Вера Дмитриевна**

доктор геолого – минералогических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки
Институт Геологии и Минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук;
профессор кафедры минералогии и геохимии, геолого
– геофизический факультет, Федеральное
государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Новосибирский
национальный исследовательский государственный
университет», г. Новосибирск.

Сысо Александр Иванович

доктор биологических наук, старший научный
сотрудник, заведующий лабораторией биогеохимии
почв, Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт почвоведения и
агрохимии Сибирского отделения Российской
академии наук, г. Новосибирск

Защита состоится «27» мая 2024 года в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.29 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте dis.tpu.ru при помощи QR-кода.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДС.ТПУ.29
д.б.н., профессор



Барановская
Наталья Владимировна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Сибирский регион богат на месторождения полезных ископаемых и, в частности, месторождений и рудопроявлений железных руд различного генезиса. В пределах Томской области выявлена Колпашевская металлогеническая зона, в которую входит Бакчарский рудный узел и Колпашевский потенциальный рудный узел. Бакчарское месторождение оолитовых железных руд является наиболее изученной частью Западно-Сибирского железорудного бассейна (общая площадь – 300 000 км², в том числе на территории Томской области около 80 000 км²). Общие прогнозные запасы бассейна оцениваются в 400 млрд. т (содержание Fe – более 30 %), что позволяет считать его крупнейшей железорудной провинцией мира (Бабин, 1964, Мазуров, Боярко, 2005, 2006; Асочакова, 2010; Гринев, 2007, 2010; Карепина и др., 2012; Рудмин, 2014; Шайхиев, 2017 и др.). Для разработки был предложен метод скважинной гидродобычи (СГД) и проведены опытные работы, но пока месторождение так и осталось на стадии исследования. Для таких территорий важным является изучение специфики концентрации химических элементов в комплексе компонентов природной среды для создания базы с целью организации мониторинговых исследований, столь необходимых при разработке месторождения в дальнейшем. Ряд ученых, изучающих торф, лишайники, растения – торфообразователи на данной территории, отмечают комплексный характер поступления химических элементов в эти объекты (Сысо, 2009; Межибор, 2009; Страховенко, 2014; Савичев, 2021; Сиромля, 2017, 2021 и др.). На территории железорудного месторождения (окрестности с. Бакчар, Томская область) ранее были установлены специфические особенности элементного состава некоторых видов древесных растений (Шайхиев и др., 2015; Шайхиев, 2017).

На юге Кемеровской области расположена Шорская металлогеническая зона с подзонами (Тельбесско-Казская, Кондомская, Ташелгинская), которые приурочены к зонам разломов и Тельбесскому интрузивному комплексу. Самая крупная зона – Кондомская, в пределах которой расположены Таштагольское, Шалымское, Шерегешевское месторождения. Таштагольское месторождение магнетитовых железных руд разрабатывается подземным способом с 1941 г. (Иванова, 1966; Синяков, 1975; Калугин и др., 1981; Анушенков, 2016 и др.). На территории горного отвода рудника накоплено около 1 млрд м³ железорудных отходов (Филиппов, 2012). На таких территориях изменяются параметры миграции химических элементов в природной среде, а растения являются наиболее чувствительной компонентой ландшафтов, первыми реагирующими на изменение эколого-геохимического фона. (Goodman, 1981; Kovacs, 1981; Markert, 1992; Bargagli, 1998; Molnár, 2020, Ковалевский, 1984, 1991 и др.). Биологические объекты зачастую используются в качестве геоиндикаторов, потому что они позволяют выявить специфические особенности среды, отражают эколого-геохимическое состояние территории исследования, и конкретно состояние самой биоты, что является важным для человека. (Глазовская М.А.; 1988; Перельман А.И., 1989; Добровольский В.В.; 2009; Рихванов Л.П., 2009; Барановская Н.В., 2011; Алексеенко А.И. и др., 2013; Касимов Н.С., 2017; Ермаков В. В. и др., 2019; Юсупов Д.В., 2022 и др.). Листья древесных растений активно используются в качестве индикаторов природно-техногенного состояния окружающей среды и отражают специфику как почвенных растворов, так и пылеаэрозольной составляющей (Everett et al., 1967; Goodman and Roberts, 1971; Kovacs et al., 1981; Markert, 1992; Sawidis, 1995, 2001, 2011; Mulgrew and Williams, 2000; Celik et al., 2005; Шагиева, 2005; Баргалы, 2005; Диярова и др., 2009; Барановская, 2011; Воскресенский, 2011; Ковалевский, 1984, 1991; Юсупов, 2016, 2022 и др.). Факт значительной роли древесной растительности в фиксировании эолового привноса с нахождением микроминеральных фаз химических элементов на пластинке листа доказан рядом исследователей для урбанизированных территорий (Soldatini, 1994; Tomasevic, 2004; Simon, 2011; Юсупов и др., 2014; Ялалтдинова, 2014 и др.).

Таким образом, актуальность выявления индикаторных показателей содержания, соотношения и возможности фиксирования определенных форм химических элементов, поступающих с пылевыми частицами, в компонентах природной среды, при разработке месторождений и на стадии его изучения, весьма высока с точки зрения установления фоновых и текущих показателей. В качестве источника информации об изменении эколого-геохимической ситуации на территориях расположения месторождений железных руд нами выбраны листья древесного растения в системе с изучением особенностей почв. Мы предлагаем в качестве чувствительного биогеоиндикатора листья осины обыкновенной (*Populus tremula* L.). За счет мощной поверхностной корневой системы и быстрого роста она достаточно хорошо отражает значительную площадь, измененную под влиянием как природных, так и техногенных факторов.

Цель работы – установить индикаторные возможности биогеохимических показателей в составе листьев осины и почве для оценки эколого-геохимического состояния территории распространения железорудных объектов Томской и Кемеровской областей.

Задачи исследований:

- Провести опытно-методические исследования концентрирования и пространственного распределения химических элементов в листьях осины для выявления фоновых концентраций и закономерностей сезонного накопления;
- Выявить индикаторные показатели накопления и соотношений некоторых химических элементов в составе почвы и листьев осины на территории распространения железорудных объектов в природно-техногенных условиях Томской и Кемеровской областей;
- Установить влияние природно-техногенной обстановки территорий распространения железорудных объектов Томской и Кемеровской областей на формирование элементного состава почвы и растения, а также специфики микроминеральных форм на поверхности листа.

Основные защищаемые положения:

1. На условно фоновой территории Томской области в листьях осины наблюдается увеличение концентрации Hg и Sb с вегетационным периодом, при отмывании листьев осины спектр накапливаемых элементов не изменяется, распределение Zn, Au на поверхности листовой пластинки носит равномерный характер.

2. На территории расположения железорудных объектов Томской и Кемеровской областей антропогенная нагрузка вызывает диспропорции в региональных соотношениях Th/U и Fe/PЗЭ в листьях осины. В зонах интенсивного пыления в листьях осины зафиксированы общие микроминеральные фазы железа, циркония, редкоземельных элементов, а для территории Кемеровской области специфичные микроминеральные фазы сурьмы, мышьяка и золота.

3. Общими элементами в листьях осины территории расположения железорудных объектов являются Zn, Fe, Hf, PЗЭ, As, Sc, Ag и U. Биогеохимической спецификой территории восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) является накопление химических элементов Br, Au и Th в листьях осины, для территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) – Ca, Cr, Sr, Sb, Ta, Ba.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положены результаты проведенных исследований автором лично, а также совместно с сотрудниками отделения геологии (ранее – кафедры геоэкологии и геохимии) Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

При личном участии автора на территории Томской и Кемеровской областей отобрано и проанализировано 179 пробы, включающих почву, листья осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), семейство ивовых (*Salicaceae*), род тополь (*Populus*).

Количественное определение химических элементов проводилось с использованием инструментального нейтронно-активационный анализа (ИНАА) на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории (ЯГЛ) Национального исследовательского Томского политехнического университета (с.н.с. Судыко А.Ф., Богутская Л.В.) и аналитическом центре ООО «Химико-аналитический центр «Плазма», г. Томск (Федюнина Н.В.). Анализ содержания ртути в образцах сухой массы листьев осины проводился на ртутном анализаторе «РА-915М» с приставкой «ПИРО-915+» методом атомной абсорбции (метод пиролиза) с нижним пределом обнаружения – 5 нг/г в международном научно-образовательном центре «Урановая геология» ТПУ (с.н.с., к.г.-м.н. Ляпина Е.Е.). Изучение элементного и минерального состава частиц на поверхности листьев осины проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi S-3400N (с приставкой Bruker XFlash 5010 с разрешением 129 еВ для проведения рентгено-спектрального анализа). При выборе образцов для проведения СЭМ учитывался геохимический состав проб с высокими концентрациями РЗЭ по результатам ИНАА. Для изучения образцов применялся детектор обратно-рассеянных электронов (BSE) в режиме низкого вакуума (от 50 до 100 Па).

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб, которые были проанализированы современными высокочувствительными аналитическими методами (ИНАА, ИСП-МС) в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам с выполнением контрольных определений 5-10% проб изученных сред, а также глубиной проработкой фактического материала с применением современных методов статистической обработки и литературы по теме исследования. Внутрिलाбораторный контроль проводился как повторный анализ проб с зашифрованными номерами в количестве 15 % от общего объема ранее проанализированных проб.

Научная новизна

1. Впервые получены новые данные по содержанию 28 химических элементов в листьях осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) на территории Томской и Кемеровской областей в зоне распространения железорудных объектов.

2. Установлено, что из набора изученных элементов ртуть и сурьма имеют тенденцию к накоплению в составе листьев осины в течение вегетационного периода на фоновой территории.

3. Установлено, что элементы, специфичные для осины (Zn, Au), распределяются равномерно и встречаются во всех частях листа, в то время как распределение Fe и РЗЭ носит неравномерный характер вследствие поступления с эоловым привносом.

4. Выявлены специфичные микроминеральные фазы на поверхности листа осины в зонах интенсивного пыления (грунтовые дороги, разгрузочная площадка), что приводит к диспропорции соотношений Th/U и Fe/РЗЭ.

5. Установлена общая и территориальная специфика концентрирования определённого спектра химических элементов в листьях осины на территории восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) и на территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область).

Практическая значимость. Проведен ряд опытно-методических исследований, направленных на изучение влияния различных факторов (вегетационный период, отмывание, разделение) на изменения концентрирования химических элементов и их пространственное распределение в листьях осины обыкновенной. Методическая работа по распределению химических элементов по поверхности листа осины обыкновенной показала, что типичные элементы распределяются равномерно, атипичность распределения элементов связано с наличием микроминеральных фазовых включений.

Выявлена биогеохимическая аномалия, обусловленная пылевым ореолом, сопровождающим дорогу с грунтовым покрытием. Анализ полученных региональных данных выполнен в контексте их индикаторной роли пыле-аэрозольного загрязнения с

применением статистических методов, которые активно используются в исследованиях для анализа обстановки и индикации территорий. Маркерами пополнения компонентного состава растительного материала путем природного эолового и техногенного пылевого загрязнения выступили редкоземельные элементы.

Данные, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при подготовке практических занятий по курсу: «Геохимия, геохимический мониторинг окружающей среды», «Геохимия живого вещества» в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ для подготовки магистров по направлению «Экология и природопользование», а также использованы в курсах «Учение о биосфере», «Творческий проект», «Учебно-исследовательская работа студентов» для подготовки бакалавров по направлению «Экология и природопользование».

Апробация работы. Результаты полученных исследований представлены на Всероссийских и Международных конференциях и симпозиумах: «Геотехнологические методы освоения месторождений твердых полезных ископаемых» (г. Москва, 2015 г.); «Творчество юных – шаг в успешное будущее» (г. Томск, 2015 г.); «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (г. Томск, 2016, 2021 гг.); «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, 2016 г.); «Новое в познании процессов рудообразования» (г. Москва, 2016 г.); «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2019 г.); «Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине» (г. Тула, 2021 г.); «Современное развитие биогеохимических идей В.И. Вернадского» (г. Москва, 2023 г.); «Почвы и окружающая среда» (г. Новосибирск, 2023 г.).

Публикации. Основные научные результаты опубликованы в 11 научных статьях, включая 4 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 152 страницах, дополнена 69 рисунками и 31 таблицей. Работа содержит 5 глав, введение, заключение, список литературы содержит 218 источников. **Во введении** представлены актуальность исследований, определены цель и задачи, указаны научная новизна и практическая значимость, а также обозначен личный вклад автора и апробация работы. **В первой главе** рассматриваются имеющиеся в литературе сведения по применению осины обыкновенной в качестве объекта эколого-геохимической индикации и накопительной способности данного древесного вида. **Во второй главе** содержится информация об объекте исследования, отборе и подготовке проб листьев осины обыкновенной, проведенных аналитических исследованиях, статистической обработке полученного материала, краткой эколого-геохимической характеристике территории исследования. **Третья глава** посвящена проведению опытно-методических экспериментов, направленных на изучение влияния различных факторов на элементный состав листьев осины. **В четвертой главе** рассматриваются индикаторы содержания химических элементов в листьях осины, отражающие антропогенное и техногенное воздействие на территории расположения железорудных объектов. **В пятой главе** охарактеризован элементный состав листьев осины обыкновенной на территории железорудных объектов. **В заключении** представлены основные результаты по диссертационной работе.

Личный вклад. Автором лично выполнен отбор и анализ 179 проб, включающих почву, листья Осины обыкновенной (*Populus tremula* L.), проведена подготовка к ИНАА, ИСП-МС. Автором проведена статистическая обработка всего объема данных, выполнен аналитический обзор отечественной и зарубежной научной литературы по изученной проблеме, совместно с руководителем дана интерпретация полученных результатов и сформулированы защищаемые положения. Автор лично провел изучение вещественного состава образцов методами электронно-микроскопического анализа.

Благодарности. Автор глубоко и искренне выражает благодарность научному руководителю, д.б.н., профессору отделения геологии Наталье Владимировне Барановской

за научное сопровождение, всестороннюю поддержку, понимание, мотивацию и помощь на всех этапах реализации работы. Особую благодарность автор выражает профессору, д.г.-м.н. Леониду Петровичу Рихванову за ценные советы, рекомендации и всестороннюю помощь. Автор очень признателен к.г.-м.н. В.А. Домаренко за поддержку и ценные советы. Автор выражает глубокую благодарность к.г.-м.н. И.С. Соболеву за ценные советы и идеи. Автор признателен за помощь всем сотрудникам отделения геологии ИШПР ТПУ. За ценные советы автор выражает отдельную признательность д.г.-м.н. С.И. Арбузову, д.г.-м.н. Е.Г. Языкову, д.г.-м.н. Н.В. Гусевой, к.г.-м.н., Б.Р. Соктоеву. Автор благодарен за помощь в отборе проб к.г.-м.н. А.Ю. Иванову, Б.К. Кенесбаеву, А.П. Зайченко, А. Казаковой. Особую благодарность за проведение аналитических исследований с.н.с А.Ф. Судыко и Л.В. Богутской. Автор благодарен с.н.с. лаборатории физики климатических систем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН к.г.-м.н. Е.Е. Ляпиной за поддержку и помощь.

Защищаемые положения

ПОЛОЖЕНИЕ 1. *На условно фоновой территории Томской области в листьях осины наблюдается увеличение концентрации Hg и Sb с вегетационным периодом, при отмывании листьев осины спектр накапливаемых элементов не изменяется, распределение Zn, Au на поверхности листовой пластинки носит равномерный характер.*

Нами был проведен ряд опытно-методических работ, направленных на выявление поглотительной способности и концентрации химических элементов в листьях осины.

Анализ элементного состава листьев в течение вегетационного периода показал, что происходит неравномерное накопление большинства элементов в течение вегетационного периода. Выделяются два элемента (Sb, Hg), содержание которых растет в течение всего вегетационного периода. Концентрация Hg в листьях осины к концу вегетационного периода превысила кларк в наземных растениях (12 нг/г), это подтверждает ранее проведенные исследования, которые показывают, что листовой опад является важнейшим источником поступления ртути в почву (Боев, Барановская и др., 2018; Gómez-Armesto et al, 2020; Барановская, Иванов и др., 2022) (рисунок 1). Геохимическая специализация на Sb и Hg листьев осины обусловлена расположением условно фоновой точки в пределах потенциального на Au района (Черникова и др., 2007), в пределах которого были околонтурены гидрогеохимические и литохимические аномалии. Также Sb и Hg являются индикаторными химическими элементами в пределах территорий расположения золоторудных месторождений (Юсупов, 2009; Гусев, 2012; Мишанькин и др., 2021 и др.).

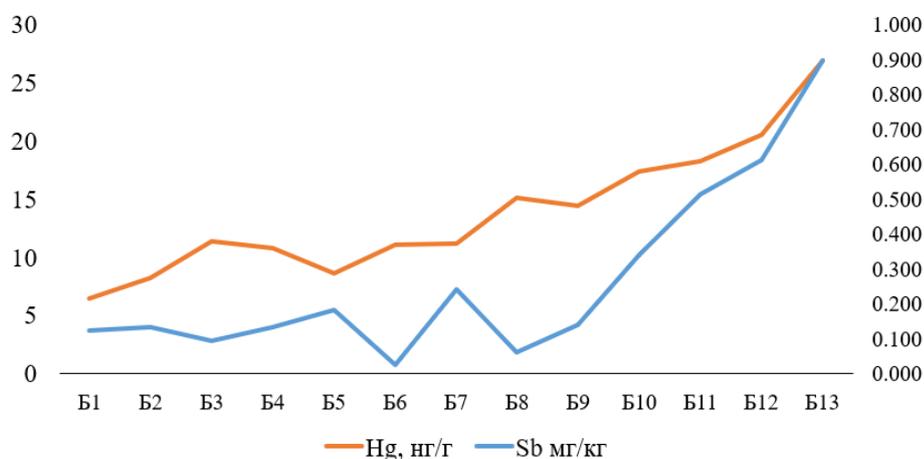


Рисунок 1 Динамика изменения содержания Hg и Sb в листьях осины (мг/кг) в течение вегетационного периода (2022 г.)

Примечание: B1-B13 – недели (июнь-август); Hg – по сухому веществу; Sb – по золе.

Анализ полученных данных показал, что минимальные коэффициенты концентрации (КК) как в отмытых, так и неотмытых листьях имеют элементы (Ca, Zn, Co, Au), которые, согласно литературных данных осина концентрирует в любых обстановках (Ковалевский, 1974). При отмывании КК некоторых элементов (РЗЭ, Sc) уменьшились, что доказывает их поступление с пылью. Сравнение содержания химических элементов в сухом веществе в листьях осины со средним содержанием химических элементов в «эталонном растении» (Markert, 1992) показало, что содержание ряда элементов превышает фоновые значения: в неотмытых пробах – Au (в 42 раза), Zn (3,3), Co (1,7), Ca (1,4), Th (1,2), Sr (1,1); в отмытых – Au (20), Zn (3,5), Co (2), Ca (1,2), Th (1,2), Sr (1,1) (рисунок 2).

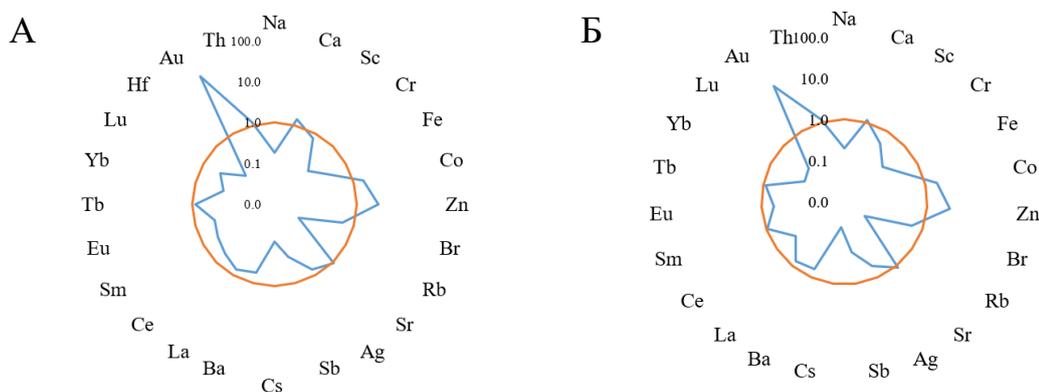


Рисунок 2 Коэффициенты концентрации элементов в листьях осины относительно «эталонного растения» (Markert, 1992)

Примечание: А – неотмытые, Б – отмытые.

При этом, анализ поступления с почвенными растворами (через расчет коэффициента биологического поглощения (КБП)) показал, что эти элементы можно считать типичными для территории Томской области. КБП в листьях осины на фоновой точке указывает на накопление с почвенными растворами Au, Zn, Ca, Br, для остальных элементов интенсивное поглощение не отмечается (таблица 1).

Таблица 1 Значения коэффициента биологического поглощения химических элементов для листьев осины

| Вид проб | Ряд химических элементов |
|------------------|---|
| неотмытые листья | Au(47)-Zn(12)-Ca(5)-Br(4,5)-Ba(0,7)-Rb=Co(0,3)-Sb=Tb(0,2)-Cs=La=Ce(0,1)-Lu=Cr(0,04)-Na=Eu(0,03)-Fe=Sm=Yb=Sc(0,02)- Th(0,01) |
| отмытые листья | Au(21)-Zn(12)-Br(5)-Ca(4)-Ba(0,7)-Co=Rb(0,3)-Tb=Sb(0,2)-La=Sm=Eu(0,1)-Ta=Cr=Cs(0,04)-Na=Ce(0,03)-Fe=Lu(0,02)- Yb=Sc=Th(0,01) |

Для выявления фактора пыления, который может отражаться в неравномерном распределении химических элементов по поверхности листовой пластинки, было проведено картирование. Для этого отобраны пробы в 3-х точках в н.п. Чажемто, н.п. Старкороткино, н.п. Староабрамкино (Томская область). С каждой точки было отобрано 12 листьев размера, соответствующего среднему значению для данного вида (Смилга, 1986). Для анализа комплексного поступления элементов в листовую пластинку она была разделена нами на части, содержащие центральную жилку (3 пробы от основания листа к верхушке) и две боковые (всего 5 частей). Каждая часть анализировалась отдельно и затем было проведено картирование листа, позволившее сделать анализ пространственного распределения элементов по поверхности пластинки. Полученные результаты показывают, что распределение специфичных для осины и характерных для территории исследования Au и Zn по поверхности листа носит равномерный характер в отличие от РЗЭ и Fe, для которых выявлена приуроченность к разным частям листа (рисунок 3).

Результаты анализа методом СЭМ подтверждают наличие микрочастиц, содержащих фазы РЗЭ, Fe и некоторых других элементов, а также демонстрирует захват частиц устьицами листа (рисунок 4). Это подтверждает возможность поступления элементов

внутри пластинки листа с пылеаэрозольным привносом. Соответственно, можно говорить о комплексном поступлении химических элементов в листья осины – с почвенными растворами по жилкам и с пылью посредством устьиц.

Метод отмывания показал, что листья осины обыкновенной являются хорошим природным планшетом для изучения пылеаэрозольного загрязнения. Для выявления факта аккумуляции химических элементов в составе листьев требуется использовать растения, произрастающие в естественной среде обитания, удаленные от интенсивного пыления (эолового переноса). В этом случае не потребуется отмывки листьев.

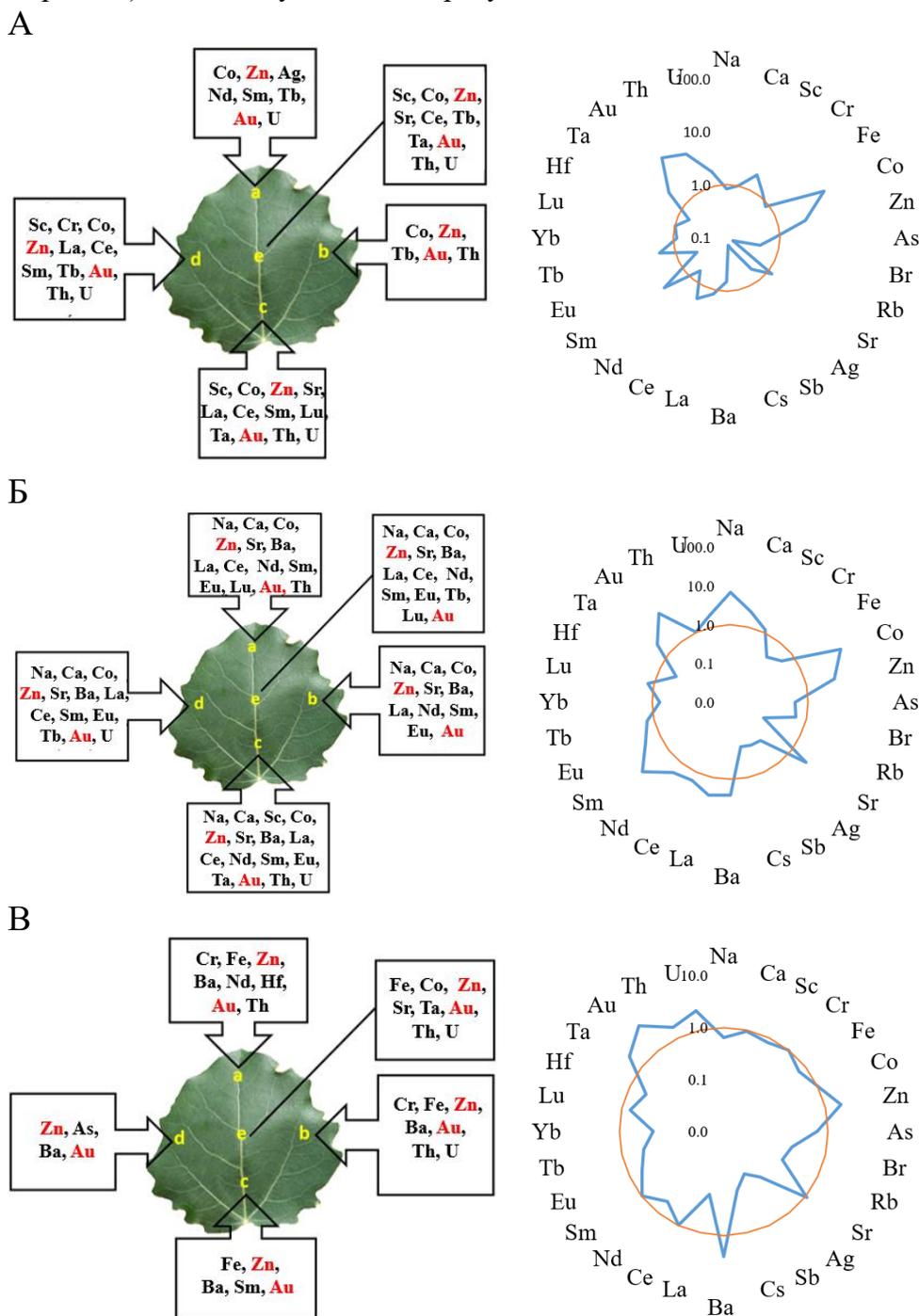


Рисунок 3 Содержание элементов в сухом веществе листьев осины превышающие значения содержания элементов в сухом веществе «эталонного растения» (Markert, 1992).

Примечание: красным шрифтом выделены элементы, встречающиеся во всех изученных частях листа; А – н.п. Чажсемто; Б – н.п. Старокороткино; В – н.п. Староабрамкино; Fe, Ca, Na – %, остальные х.э. - мг/кг.

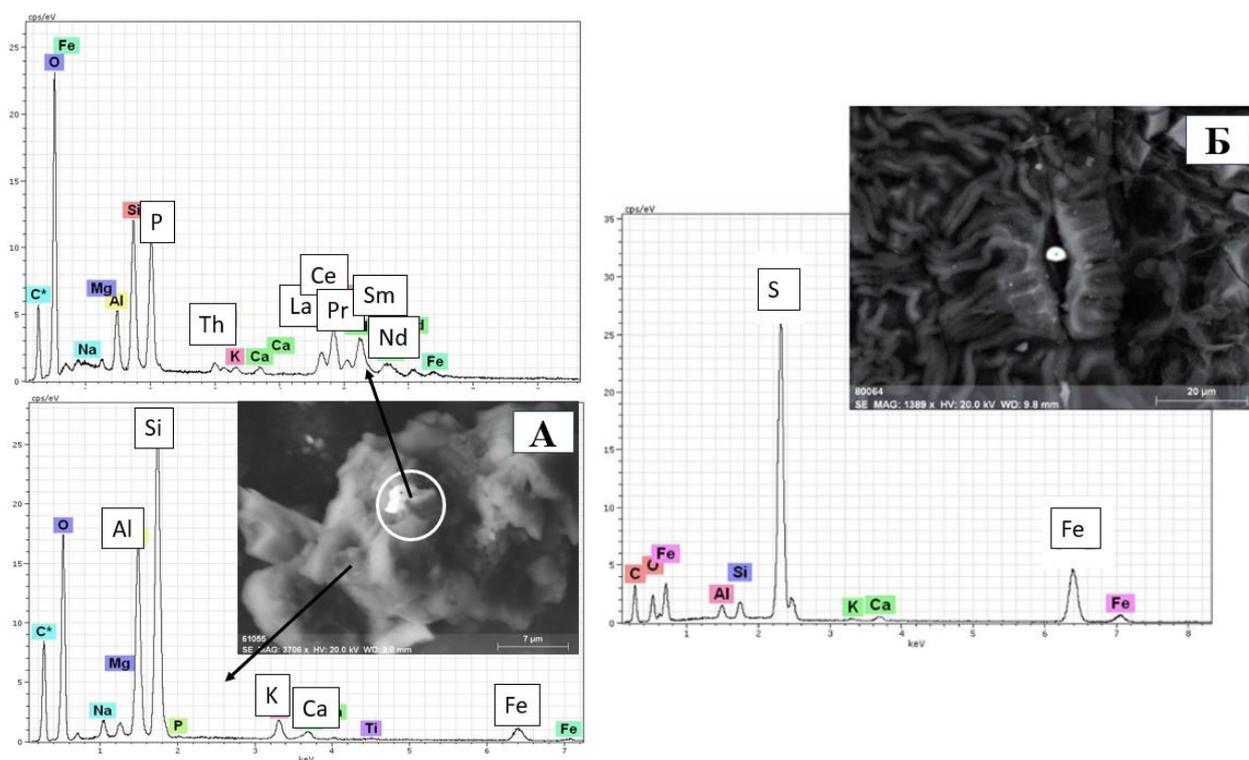


Рисунок 4 Минеральные фазы на поверхности листа осины

Примечание: А - снимок и энергодисперсионные спектры зерна фосфата редких земель и глинистой матрицы; Б- снимок и энергодисперсионный спектр частицы (пирит).

ПОЛОЖЕНИЕ 2. На территории расположения железорудных объектов Томской и Кемеровской областей антропогенная нагрузка вызывает диспропорции в региональных соотношениях Th/U и Fe/PЗЭ в листьях осины. В зонах интенсивного пыления в листьях осины зафиксированы общие микроминеральные фазы железа, циркония, редкоземельных элементов, а для территории Кемеровской области специфичные микроминеральные фазы сурьмы, мышьяка и золота.

Для выявления закономерностей распределения радиоактивных элементов в золе листьев осины было рассчитано отношение Th/U, которое позволяет провести радиогеохимическую типизацию участков исследования и продемонстрировать характер распределения естественных радиоактивных элементов (Рихванов и др., 2007). Наши данные, рассчитанные для почв и листьев, показывают, что имеет место вариативность данного параметра (таблица 2).

Таблица 2 – Th/U отношение в золе листьев осины и почве на разных участках

| Участок исследования | Листья | Почва |
|----------------------------|--------|-------|
| <i>Томская область</i> | | |
| Грунтовая дорога | 4,4 | 4,8 |
| Территория СГД | 0,5 | 3,8 |
| Асфальтовая дорога | 3,3 | 4,2 |
| <i>Среднее</i> | 3,3 | 4,1 |
| <i>Кемеровская область</i> | | |
| Грунтовая дорога | 1,6 | 1,6 |
| Разгрузочная площадка | 1,4 | 0,8 |
| Асфальтовая дорога | 2,3 | 2,8 |
| <i>Среднее</i> | 2,0 | 2,2 |

По значениям Th/U в золе листьев осины и почве выделяются участки с ториевой ($Th/U > 2,5$), смешанной ($Th/U = 1-2,5$) и урановой ($Th/U < 1$) природой накопления (Рихванов, 1995). Из таблицы 2 видно, что для большинства выделенных участков Th/U в золе листьев осины ниже, чем в почве, что подтверждает утверждение исследователей (Вернадский, 1940; Ковалевский и др., 2010; Барановская Н.В., 2003; 2005, 2009, 2013 и др.) о роли живого вещества как концентратора U. В пробах из Томской области Th/U (от 3 до 5) на всех выделенных участках имеет ториевую природу накопления, кроме территории СГД (н.п. Бакчар) ($Th/U = 0,5$) (рисунок 5). В Кемеровской области данное отношение в почве соответствует смешанной природе. Это хорошо демонстрирует значимое увеличение содержания Th и U в листьях осины на участках интенсивного пыления. Меньший рост концентрации наблюдается в районе разгрузочной площадки на территории Таштагольского месторождения, что связано, по всей видимости, со складированием компонентов смеси для отсыпки провала. По данным ряда исследователей (Осипов, 1964) район характеризуется низким содержанием урана в гранодиоритах и уменьшением его концентрации к эндоконтакту, но при этом оказалось, что породообразующие минералы, все являются минералами-носителя урана. По – видимому, при извлечении пород на поверхность происходит естественное увеличение поступления урана в растение.

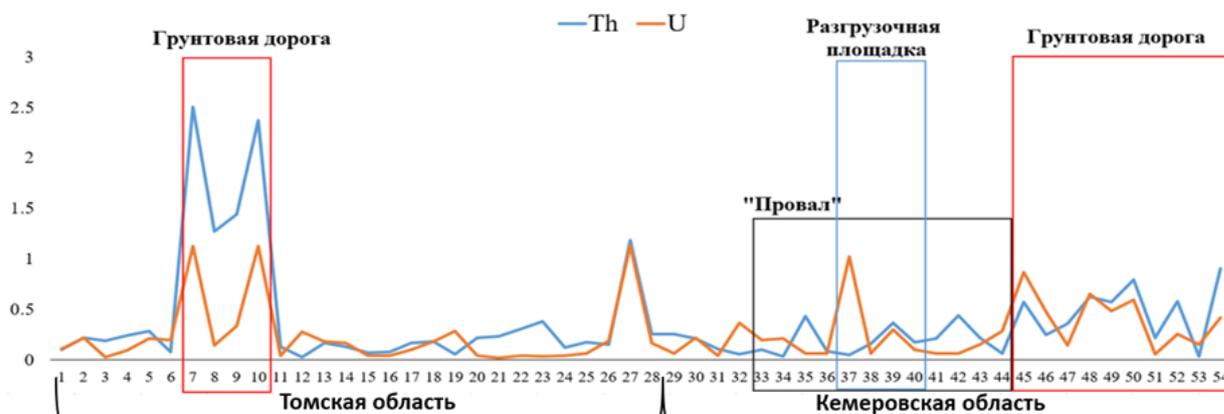


Рисунок 5 Изменение содержания Th и U в листьях осины на территории железорудных объектов Томской и Кемеровской областей, мг/кг

Примечание: (1-54) – номера проб, 1 – Анастасьевка, 2 – Вороновка, 3 – Плотниково, 4 – Польшанка, 5 – Поротниково, 6 – Бакчар, 7 – Пчелка, 8 – Высокий Яр, 9 – Парбиг-1, 10 – Парбиг-2, 11 – Подгорное-1, 12 – Подгорное-2, 13 – Ермиловка, 14 – Сухой Лог, 15 – Чемондаевка-1, 16 – Чемондаевка-2, 17 – Коломинские Гривы, 18 – Чажемто, 19 – Старокороткино, 20 – Староабрамкино, 21 – Леботер, 22 – Новоколомино, 23 – Обское, 24 – Верхняя Федоровка, 25 – Молчаново, 26 – Соколовка, 27 – Жуково, 28 – Кривошеино; (29-54) 29 – СНТ Гидродобытчик, 30 – Мундыбаш, 31 – Темиртау, 32 – Каз; Таштагол «провал» (33-44), территория Шорского национального парка (45-54).

Распределение точек в полях отношения Th и U по данным их содержания в почве и листьях осины на изученных участках показывает, что все точки, приуроченные к местам интенсивного пыления, характеризуются более интенсивным накоплением как в почвах, так и в листьях (рисунок 6).

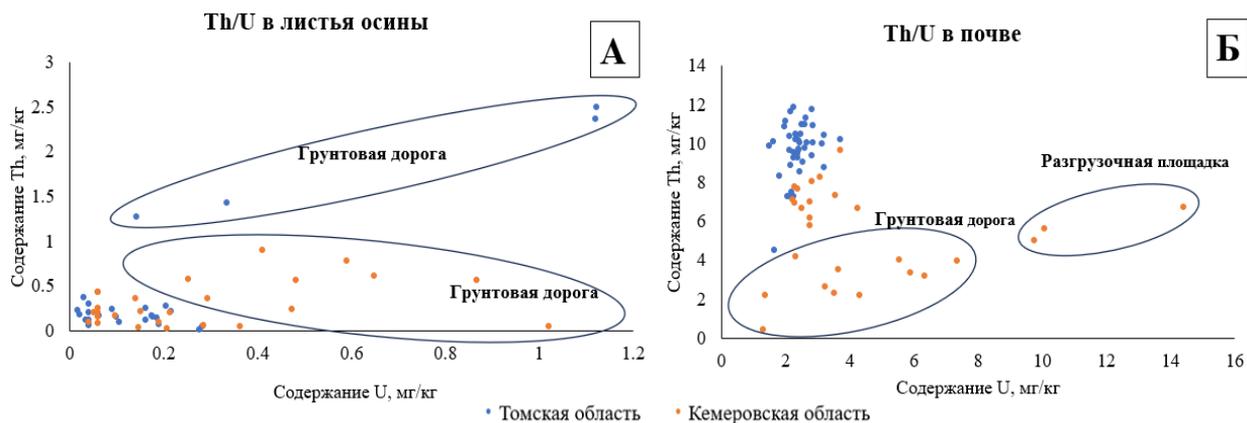


Рисунок 6 Распределение проб листьев осины и почвы в полях отношения Th и U

Одним из наиболее информативных инструментов анализа эколого-геохимической информации природных планшетов являются редкоземельные элементы (РЗЭ). По данным исследователей отмечено, что состав изученных листьев определяется химическим составом атмосферной пыли, и, в частности, положительная аномалия La отражает антропогенное воздействие (Censi et al, 2017; Giardi et al., 2018; Дорохова и др., 2020). Это позволило нам привлечь РЗЭ для выявления антропогенной нагрузки на исследуемых территориях. Для изученных территорий характерна классическая картина относительного распределения этой группы (по данным ИСП-МС) с Eu максимумом, более выраженным для проб, отобранных на территории Кемеровской области (рисунок 7).

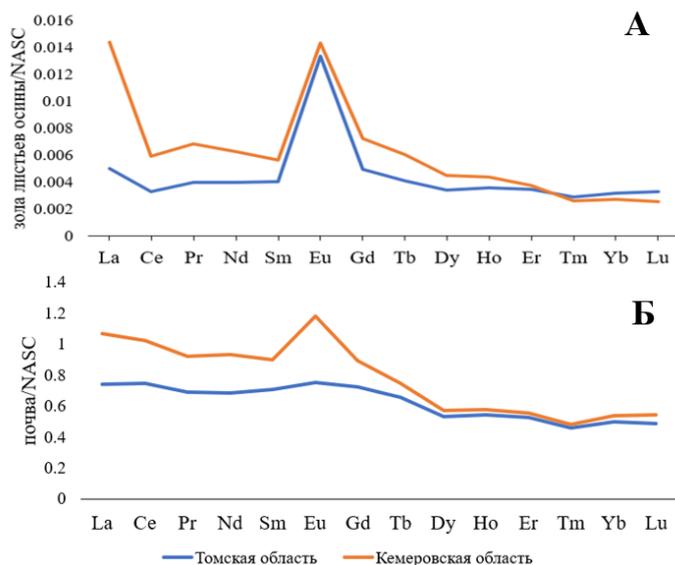


Рисунок 7 Кривые распределения РЗЭ, нормированные на NASC

Примечание: А – зола листьев осины (*Populus tremula L.*); Б – почва.

Графики коэффициентов концентрации Fe, РЗЭ в листьях осины имеют схожий характер распределения: выделяются два участка (т. 7-10 – Пчелка-Парбиг, т. 45-54 – Шорский национальный парк), приуроченные к грунтовым дорогам – источникам интенсивного пыления при движении автотранспорта. Отношение Fe/РЗЭ приводит к «деградации» полученных содержаний в листьях осины (рисунок 8). Влияние фактора пыления также хорошо проявлено в пространственной дифференциации содержаний Fe, РЗЭ в полях отношений «почва-зола листьев», «коэффициент зольности-содержание химического элемента» (рисунок 9).

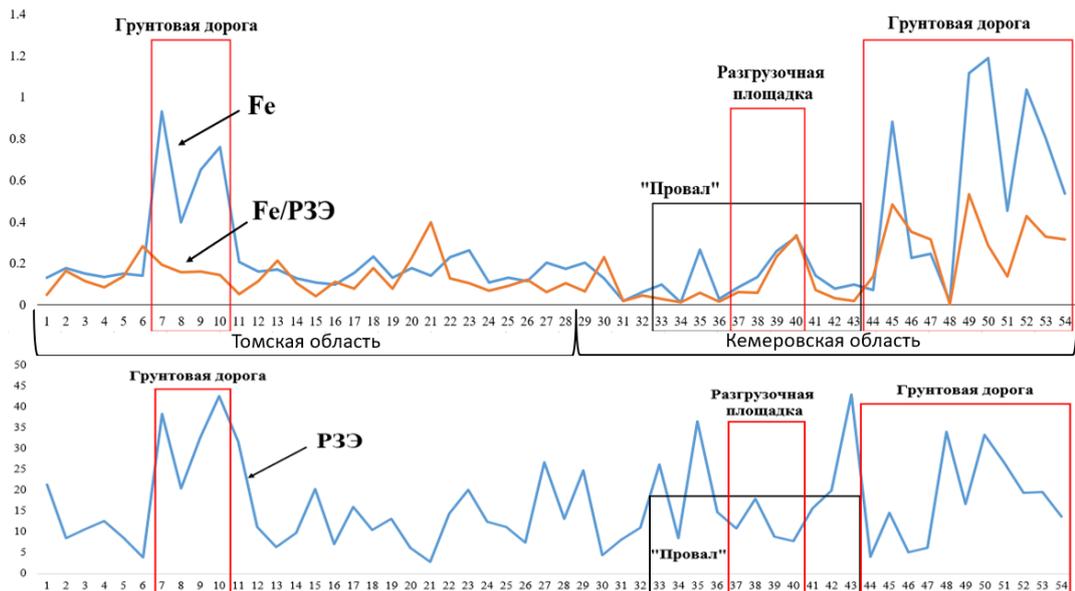


Рисунок 8 Графики распределения коэффициентов концентрации Fe, P3Э и показателя Fe/P3Э в листьях осины по точкам отбора
 Примечание: 1-54 – номера проб, расшифровку см. рис. 5.

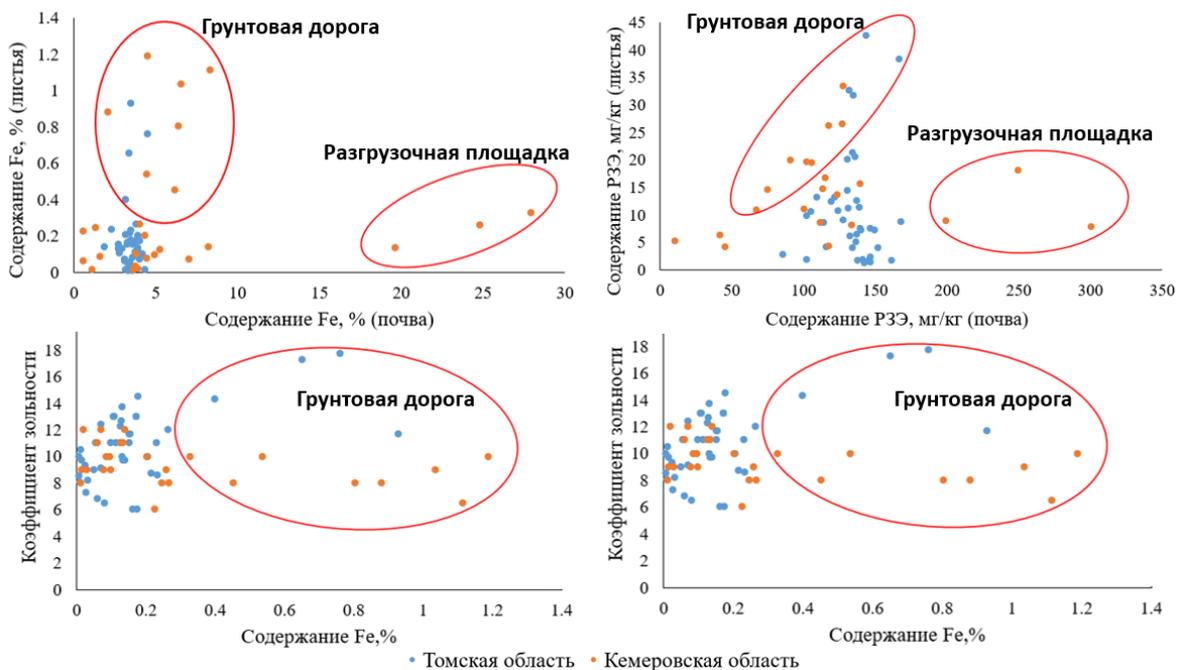


Рисунок 9 Распределение содержания Fe и P3Э в полях отношений «почва-зола листьев», «коэффициент зольности- содержание х.э. в золе листьев»

Таким образом, можно сделать вывод, что редкоземельные элементы являются хорошими индикаторами эолового поступления химических элементов в состав растения, а отношение Fe/P3Э может быть использовано как геохимический индикатор процесса.

Анализ содержания Fe в почве и листьях осины на территории проведения опытно-методических работ по СГД железных руд Бакcharского месторождения показывает, что между содержанием элемента в почве и листьях наблюдается обратная корреляционная связь (высокие содержания в почве и низкие – в листе) (рисунок 10).

Преимущественное поступление Fe путем эолового поступления подтверждается данными по его формам нахождения: Fe в исследованных почвах находится преимущественно в трехвалентной форме, которая имеет более низкую миграционную способность по сравнению с двухвалентной (рисунок 11). Так как корневая система осины в основном находится в верхних горизонтах почв, то закономерно, что в листьях дерева его содержание низкое.

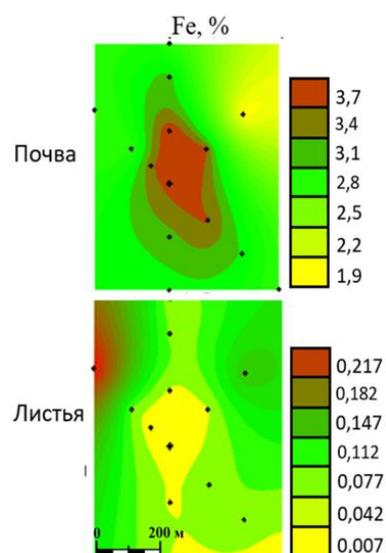


Рисунок 10 Распределение Fe в золе листьев осины и почве на территории карты намыва пробной СГД №101 (н.п. Бакchar) по данным ИНАА

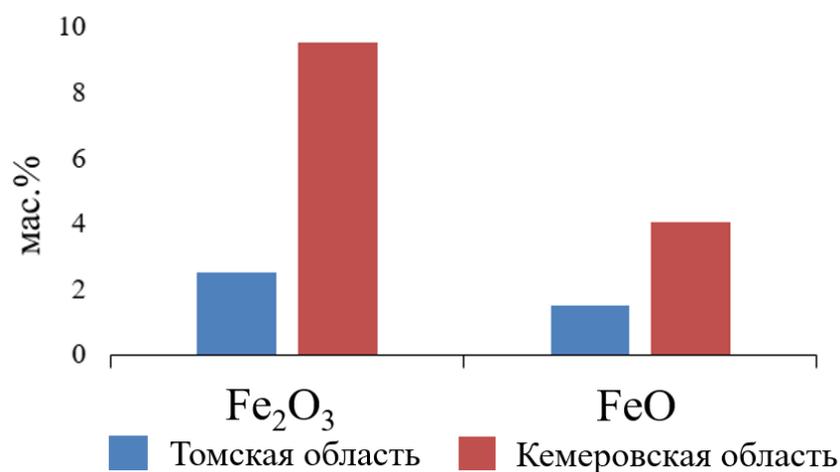


Рисунок 11 Содержание различных форм Fe в почвах изученных территорий

Атмосферное поступление химических элементов также подтверждается наличием микроминеральных фаз Fe в устьицах листа. Кроме того, были выявлены микроминеральные фазы РЗЭ и циркона на поверхности листьев осины на территории Томской и Кемеровской областей (рисунок 12).

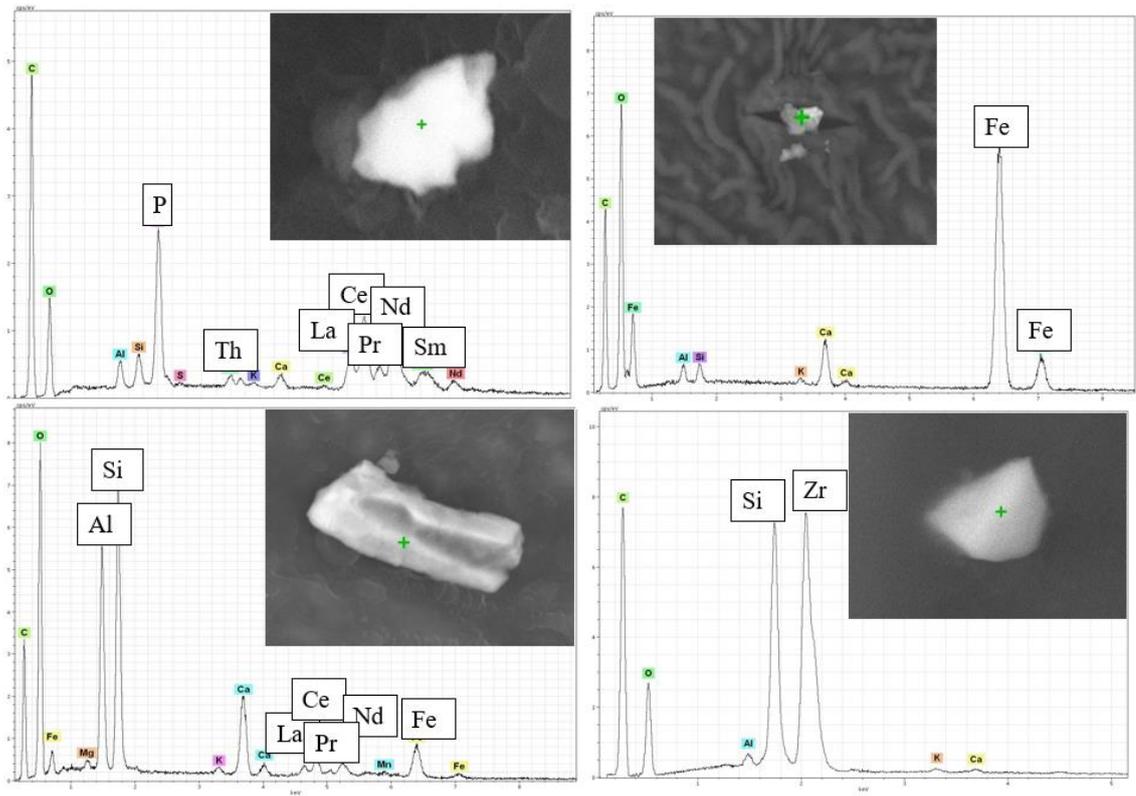


Рисунок 12 Минеральные фазы оксида железа, циркона, фосфата РЗЭ и Са-алюмосиликата РЗЭ на поверхности листа осины

Для территории Кемеровской области были также обнаружены фазы специфических элементов – Sb, As, Au (рисунок 13).

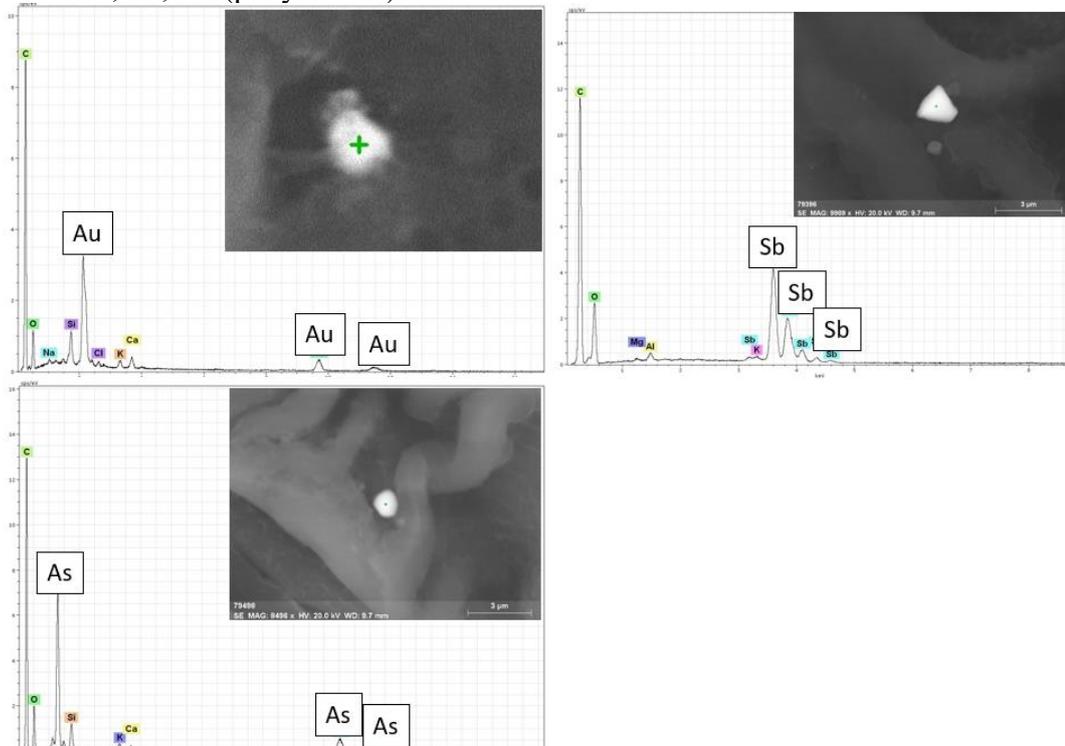


Рисунок 13 Минеральные фазы, содержащие золото, мышьяк и сурьму на поверхности листа осины (н.п. Таштагол)

На основе результатов СЭМ листьев осины из зон интенсивного пыления (грунтовая дорога, разгрузочная площадка) была сформирована таблица встречаемости химических элементов, согласно которой частота встречаемости элементов, характеризующихся преимущественно атмосферным путем поступления, составляет более 50 % (таблица 3).

Таблица 3 Частота встречаемости химических элементов на поверхности листьев осины по данным сканирующей электронной микроскопии (200 определений)

| | | | | | | | | | | |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Х.э. | Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | K | Ca | Ti |
| % | 86 | 100 | 100 | 100 | 100 | 71 | 71 | 100 | 100 | 100 |
| Х.э. | Cr | As | Fe | Cu | Zn | Y | Zr | Ag | Sb | Ba |
| % | 56 | 14 | 100 | 42 | 71 | 57 | 86 | 14 | 14 | 29 |
| Х.э. | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Hf | Au | Th |
| % | 86 | 100 | 57 | 86 | 71 | 14 | 57 | 14 | 29 | 57 |

Примечание: жирным шрифтом выделены элементы с встречаемостью более 50%.

Таким образом, установлено, что антропогенная нагрузка приводит к диспропорции индикаторных отношений Th/U и Fe/PЗЭ. В зонах интенсивного пыления (грунтовые дороги, разгрузочная площадка) на поверхности листьев осины осаждаются микроминеральные фазы различного состава, характеризующие эколого-геохимическую обстановку территорий исследования.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. *Общими элементами в листьях осины территории расположения железорудных объектов являются: Zn, Fe, Hf, PЗЭ, As, Sc, Ag и U. Биогеохимической спецификой территории восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) является накопление химических элементов Vb, Au и Th в листьях осины, для территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) – Ca, Cr, Sr, Sb, Ta, Ba.*

По данным ряда исследователей осина обыкновенная (*Populus tremula* L.) является концентратором таких элементов как Zn, Co, Au и некоторых других, в том числе Fe. Для изучения применялись разные части осины, в основном кора (Ковалевский, 1984; Паршевников, 1963; Ремезов, 1959; Денисова, 2006; Диярова, 2009; Потапова, 2014; Mandre, 2014; Kalubi et al., 2016; Сибиркина, Лихачев, 2017; Железнова и др., 2017; Gorica et al., 2018).

Изученные нами территории представляют особый интерес из-за расположения железорудных месторождений: в случае Томской области объект (Бакчарское месторождение) находится на стадии изучения и были проведены только опытно-методические работы по добыче железных руд, в Кемеровской области объект (Таштагольское месторождение) давно разрабатывается. Месторождения характеризуются различиями в генезисе, особенностях геологического строения, вещественном составе рудоносных формаций, вещественных и текстурно-структурных особенностях руд (Бабин, 1964; Шахов, 1964; Иванова, 1966; Синяков, 1975; Вахрушев, 1989; Мазуров, Боярко, 2005; Асочакова, 2010; Гринев, 2007, 2010; Карепина и др., 2012; Рудмин, 2014; Подурец, 2015; Середина и др., 2017).

Нами для районов расположения железорудных объектов установлены средние содержания химических элементов в золе листьев осины (таблица 4).

Таблица 4 Статистические параметры содержания химических элементов в золе листьев осины по данным инструментального нейтронно-активационного анализа, мг/кг

| Элемент | Томская область (N = 55) | | | Кемеровская область (N = 26) | | |
|---------|--------------------------|---------|-----|------------------------------|---------|-----|
| | X±A | Медиана | V,% | X±A | Медиана | V,% |
| Na, % | 0,07±0,01 | 0,04 | 86 | 0,09±0,01 | 0,08 | 86 |
| Ca, % | 16,1±0,54 | 15,2 | 33 | 29±1,8 | 27,1 | 33 |
| Sc | 0,32±0,06 | 0,2 | 120 | 0,84±0,2 | 0,33 | 120 |
| Cr | 5,65±0,69 | 4,31 | 69 | 12,4±1,7 | 9,4 | 69 |
| Fe, % | 0,13±0,02 | 0,08 | 112 | 0,33±0,07 | 0,17 | 112 |
| Co | 11,74±1,11 | 9,6 | 69 | 16,4±1,6 | 14,7 | 69 |
| Zn | 1964±67 | 1952 | 51 | 1960±197 | 1827 | 51 |
| As | 0,72±0,2 | 0,3 | 96 | 1,06±0,2 | 0,7 | 96 |
| Br | 24,8±1,7 | 22,4 | 97 | 10±1,9 | 7,5 | 97 |
| Rb | 54±6,5 | 42 | 61 | 56±6,7 | 49 | 61 |
| Sr | 804±29 | 791 | 50 | 1733±171 | 1375 | 50 |
| Ag | 0,87±0,16 | 0,40 | 133 | 1,11±0,3 | 0,4 | 133 |
| Sb | 0,21±0,02 | 0,14 | 75 | 0,48±0,07 | 0,5 | 75 |
| Cs | 0,26±0,03 | 0,18 | 85 | 0,33±0,06 | 0,3 | 85 |
| Ba | 371±29 | 328 | 73 | 835±119 | 755 | 73 |
| La | 2,8±0,31 | 1,93 | 67 | 6,16±0,8 | 6,34 | 67 |
| Ce | 3,7±0,5 | 2,41 | 73 | 6,31±0,9 | 5,9 | 73 |
| Nd | 2,11±0,3 | 0,7 | 91 | 3,6±0,65 | 2,84 | 91 |
| Sm | 0,74±0,1 | 0,54 | 70 | 0,69±0,1 | 0,60 | 70 |
| Eu | 0,07±0,01 | 0,04 | 74 | 0,16±0,02 | 0,16 | 74 |
| Tb | 0,08±0,01 | 0,05 | 75 | 0,17±0,02 | 0,16 | 75 |
| Yb | 0,10±0,01 | 0,05 | 88 | 0,21±0,03 | 0,16 | 88 |
| Lu | 0,02±0,003 | 0,01 | 102 | 0,03±0,006 | 0,02 | 102 |
| Hf | 0,13±0,03 | 0,03 | 124 | 0,22±0,05 | 0,08 | 124 |
| Ta | 0,05±0,01 | 0,01 | 193 | 0,18±0,07 | 0,03 | 193 |
| Au | 0,4±0,08 | 0,2 | 123 | 0,06±0,01 | 0,03 | 123 |
| Th | 0,23±0,05 | 0,10 | 82 | 0,30±0,05 | 0,21 | 82 |
| U | 0,18±0,03 | 0,06 | 94 | 0,28±0,05 | 0,2 | 94 |

Примечание: N – количество проб; X±A - среднее арифметическое ± ошибка среднего, M - медиана, V - коэффициент вариации.

Показатели коэффициента вариации выше 60 % характеризуют выборку как неоднородную (Ткачев и др, 1975). Сильный размах значений, свидетельствует о многофакторном поступлении химических элементов.

В эколого-геохимических исследованиях для выявления геохимической специфики территории, обусловленной как природными, так и техногенными факторами применяется нормирование на фоновые показатели, в качестве которых нами взяты следующие данные: среднее содержание химических элементов в «эталонном растении» (Markert, 1992), кларк ноосферы (Глазовская, 1988), среднее содержание в золе листьев рода тополь (Юсупов, 2022), среднее содержание в золе листьев осины по выборке данного исследования (количество проб – 109) (таблица 5).

Таблица 5 Геохимические ряды химических элементов в листьях осины на исследованных территориях относительно фоновых показателей

| Территория | Геохимический ряд |
|---|--|
| | относительно «эталонного растения» (Markert, 1992) |
| восточная часть Колпашевской металлогенической зоны | Au ₃₂ -Co ₉ -Th ₄ -Zn ₄ -Sm ₃ -La _{2,4} -Ta _{2,3} -Nd _{1,9} -Sr _{1,8} -Ca _{1,7} -Sc _{1,7} -U _{1,6} -Eu _{1,4} -Ba _{1,2} - |

| | |
|---|--|
| (Томская область) | $\text{Fe}_{1,2} - \text{Ce}_{1,2} - \text{Tb}_{0,9} - \text{Lu}_{0,7} - \text{Yb}_{0,6} = \text{As} - \text{Na}_{0,5} = \text{Br} - \text{Cr}_{0,4} - \text{Hf}_{0,3} - \text{Sb}_{0,1} = \text{Ag} = \text{Cs} = \text{Rb}$ |
| Шорская металлогеническая зона (Кемеровская область) | $\text{Ta}_{14,3} - \text{Co}_{7,5} - \text{Au}_{5,8} - \text{Th}_{5,4} - \text{Zn}_{3,7} - \text{Sc}_{3,5} - \text{Sr}_{3,3} - \text{La}_{2,9} - \text{Ca}_{2,7} - \text{U}_{2,5} - \text{Tb}_{1,9} = \text{Ba} = \text{Fe} = \text{Eu} - \text{Nd}_{1,7} - \text{Sm}_{1,6} - \text{Ce}_{1,2} - \text{Yb}_{0,9} - \text{Cr}_{0,8} - \text{Ag} - \text{Sb}_{0,5} = \text{Na} - \text{Hf}_{0,4} - \text{Br}_{0,2} = \text{Cs} - \text{Rb}_{0,1}$ |
| <i>относительно кларка ноосферы (Глазовская, 1988)</i> | |
| восточная часть Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) | $\text{Au}_{53,9} - \text{Zn}_{40} - \text{Ba}_{13} - \text{Ca}_9 - \text{Ag}_9 - \text{Sr}_3 - \text{Co}_2 - \text{Br}_{0,8} - \text{Rb}_{0,6} - \text{Sb}_{0,5} - \text{La}_{0,4} - \text{Sm}_{0,3} - \text{As}_{0,2} = \text{Nd} = \text{Tb} = \text{Ce} - \text{Cr}_{0,1} = \text{U} = \text{Fe} = \text{Hf} = \text{Yb} = \text{Sc} = \text{Na} = \text{Lu} = \text{Th} = \text{Cs} - \text{Ta}_{0,03} - \text{Eu}_{0,02}$ |
| Шорская металлогеническая зона (Кемеровская область) | $\text{Au}_{87} - \text{Zn}_{43} - \text{Ba}_{23} - \text{Ag}_{22} - \text{Ca}_{18} - \text{Sr}_7 - \text{Sb}_{1,9} - \text{Co}_{1,6} - \text{Rb}_{0,6} - \text{La}_{0,5} - \text{Br}_{0,4} = \text{As} - \text{Tb}_{0,3} - \text{Cr}_{0,2} = \text{Nd} = \text{Ce} = \text{Sm} - \text{Fe}_{0,1} = \text{U} = \text{Sc} = \text{Yb} = \text{Ta} = \text{Hf} = \text{Lu} = \text{Cs} = \text{Na} - \text{Th}_{0,04} - \text{Eu}_{0,03}$ |
| <i>относительно среднего содержания в золе листьев рода тополь (Юсупов, 2022)</i> | |
| восточная часть Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) | $\text{Au}_{133} - \text{Ag}_{5,8} - \text{Ta}_5 - \text{Tb}_{2,9} - \text{Ba}_{1,9} - \text{Zn}_{1,7} - \text{Nd}_{1,6} - \text{Rb}_{1,5} = \text{Co} - \text{Sm}_{1,3} = \text{La} = \text{Cs} - \text{Eu}_{1,2} = \text{U} = \text{Ca} - \text{As}_1 = \text{Lu} - \text{Ce}_{0,9} = \text{Br} = \text{Na} = \text{Hf} - \text{Sr}_{0,8} = \text{Yb} - \text{Cr}_{0,7} = \text{Sc} - \text{Fe}_{0,6} = \text{Th} - \text{Sb}_{0,5}$ |
| Шорская металлогеническая зона (Кемеровская область) | $\text{Au}_{20} - \text{Ta}_{18} - \text{Ag}_{7,4} - \text{Tb}_{5,6} - \text{Ba}_{4,2} - \text{La}_{2,9} - \text{Nd}_{2,7} = \text{Eu} - \text{Ca}_{2,1} - \text{Co}_2 - \text{U}_{1,9} - \text{Sc}_{1,8} = \text{Sr} - \text{Zn}_{1,7} - \text{Fe}_{1,6} = \text{Cs} = \text{Yb} = \text{Rb} = \text{Ce} = \text{Lu} - \text{Cr}_{1,5} = \text{As} = \text{Hf} - \text{Sb}_{1,3} - \text{Sm}_{1,2} - \text{Na}_{1,1} - \text{Th}_{0,8} - \text{Br}_{0,4}$ |
| <i>относительно среднего содержания в золе листьев осины по всей выборке</i> | |
| восточная часть Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) | $\text{Hf}_{3,4} - \text{Au}_{3,1} - \text{U}_{3,1} - \text{Ta}_{2,5} - \text{As}_{2,2} = \text{Ag} - \text{Th}_2 - \text{Nd}_{1,7} - \text{Na}_{1,6} - \text{Yb}_{1,5} = \text{Sc} - \text{Br}_{1,4} = \text{Cs} = \text{Eu} - \text{Fe}_{1,3} = \text{Sm} = \text{Ce} = \text{Sb} = \text{Lu} = \text{Tb} - \text{Rb}_{1,2} = \text{La} - \text{Co}_1 = \text{Zn} = \text{Ba} - \text{Cr}_{0,9} = \text{Sr} = \text{Ca}$ |
| Шорская металлогеническая зона (Кемеровская область) | $\text{Ta}_{9,1} - \text{Hf}_{5,9} - \text{U}_{4,7} - \text{Sc}_{3,9} - \text{Fe}_{3,3} = \text{As} - \text{Yb}_{3,1} - \text{Sb}_3 = \text{Eu} = \text{Nd} - \text{Ag}_{2,8} - \text{La}_{2,7} - \text{Th}_{2,6} - \text{Tb}_{2,4} - \text{Ba}_{2,3} - \text{Ce}_{2,2} = \text{Cr} - \text{Lu}_{2,1} - \text{Na}_2 = \text{Sr} - \text{Cs}_{1,8} - \text{Ca}_{1,6} - \text{Co}_{1,4} - \text{Rb}_{1,3} - \text{Sm}_{1,2} - \text{Zn}_1 - \text{Br}_{0,6} - \text{Au}_{0,5}$ |

Помимо геохимических рядов об эколого – геохимической ситуации на изученных территориях могут свидетельствовать наличие аномально высоких концентраций отдельных элементов. Для двух территорий общими элементами, для которых характерны существенная разница между минимально – максимальными значениями в листьях осины, являются Zn (550-4498 мг/кг), Fe (0,08-1,19 %), Hf (0,006-1,4 мг/кг), РЗЭ (0,11-53 мг/кг), As (0,01-14 мг/кг), Sc (0,03-3,3 мг/кг), Ag (0,05-7,4 мг/кг) и U (0,016-1,6 мг/кг). В пробах из Томской области выделяются Br (1,97-70 мг/кг), Au (0,01-4,5 мг/кг) и Th (0,001-2,5 мг/кг), что согласуется с литературными данными по другим компонентам природной среды (Барановская, 2011; Барановская и др., 2016). При этом в торфах Th был отмечен как элемент, для которого источником поступления является атмосферная пыль природного или техногенного генезиса (Межибор, 2009). Для проб из Кемеровской области определена следующая группа химических элементов: Ca (15-55 %), Cr (0,5-39 мг/кг), Sr (778-4249 мг/кг), Sb (0,001-1,46 мг/кг), Ba (34-2059 мг/кг), Ta (0,001-1,6 мг/кг). Присутствие РЗЭ в Горной Шории отмечено в исследованиях О.В. Гринева (2003) в Сеглебирском массиве на границе Горной Шории и Горного Алтая (габброидах, долеритах и вмещающих базальтах), также автором отмечена обедненность группой тяжелых РЗЭ (Lu, Yb, Tb). Sb может поступать из компонентов твердеющих закладочных смесей, в которую входят промышленные отходы горных, энергетических и металлургических производств. Концентрирование сурьмы отмечается в составе каменного угля и Sb-Au руд (Журавлева и др, 2015). Повышенные содержания таких элементов как Ba и Sr были отмечены автором (Иванова, 1966) в габбровой и сиенитовой групп пород на Таштагольском рудном поле. Нами были рассчитана частота встречаемости аномальных значений химических элементов для изученных территорий в составе золы листьев осины, она подтверждает данные, представленные в геохимических рядах (Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений, 1983) (рисунок 14).

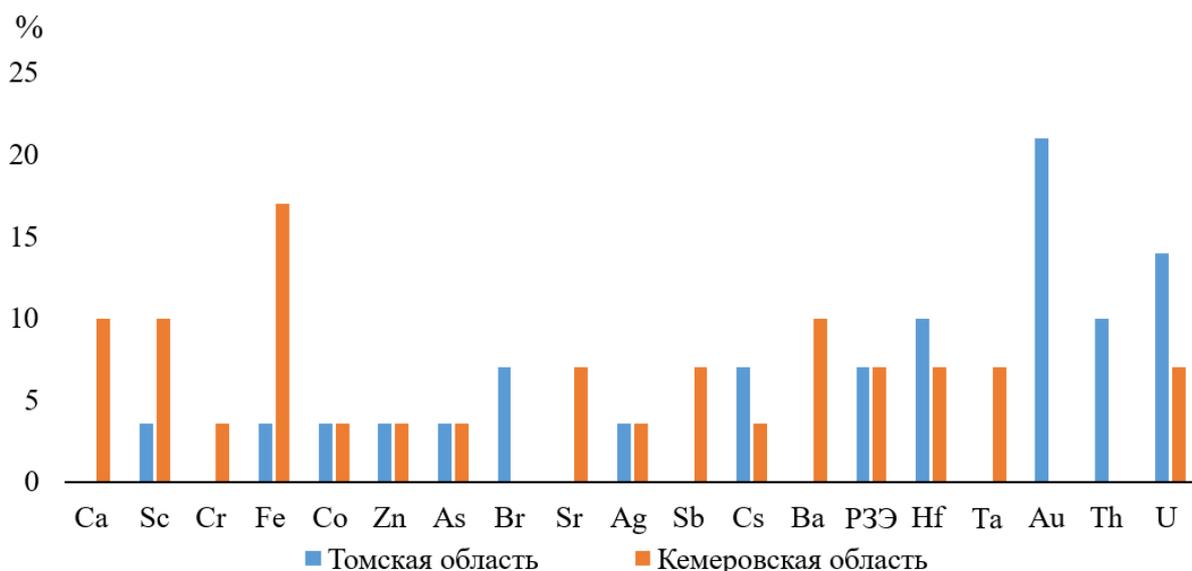


Рисунок 14 Частота встречаемости аномалий содержаний химических элементов в золе листьев осины, %

На поверхности листьев осины как на территории Томской, так и Кемеровской области выявлено значительное количество микроминеральных фаз РЗЭ, что соответствует повышенным значениям РЗЭ в листьях осины по данным ИНАА (рисунок 15).

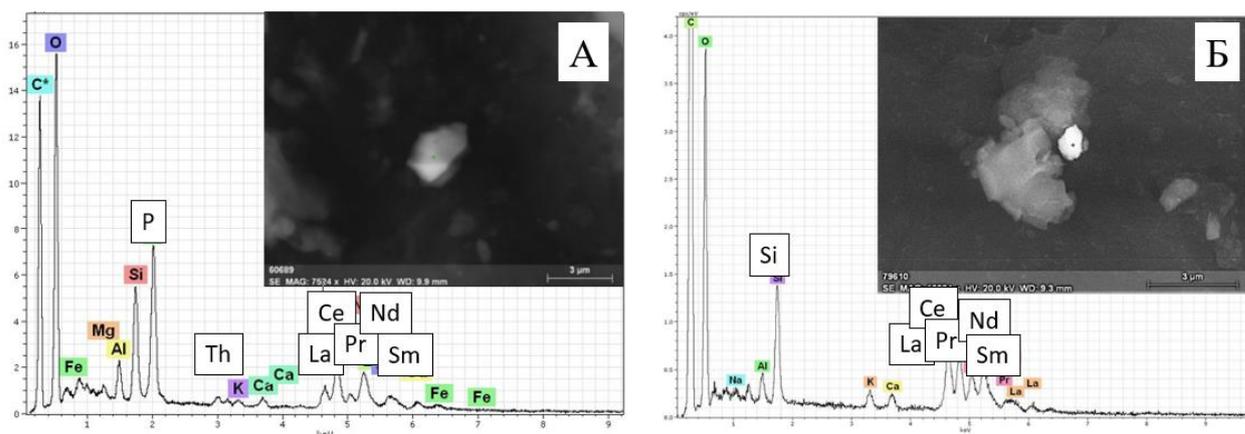


Рисунок 15 РЗЭ-содержащие частицы на поверхности листа осины

Примечание: А - н.п. Пчелка (Томская область); Б – н.п. Таштагол (Кемеровская область).

Коэффициенты биологического поглощения (КБП) выше 1, которые характеризуют переход элементов из почвы в растения через корневую систему, выявлены для Ca, Br, Au, (Томская область), Ca, Ba (Кемеровская область). Для остальных элементов значение КБП ниже 1, что свидетельствует об отсутствии интенсивного перехода из почвенных растворов. Вероятнее всего, основным путем их поступления является эоловый привнос, что также может свидетельствовать о форме доступности элементов растению согласно А. Кабата-Пендиас (1989) (рисунок 16).

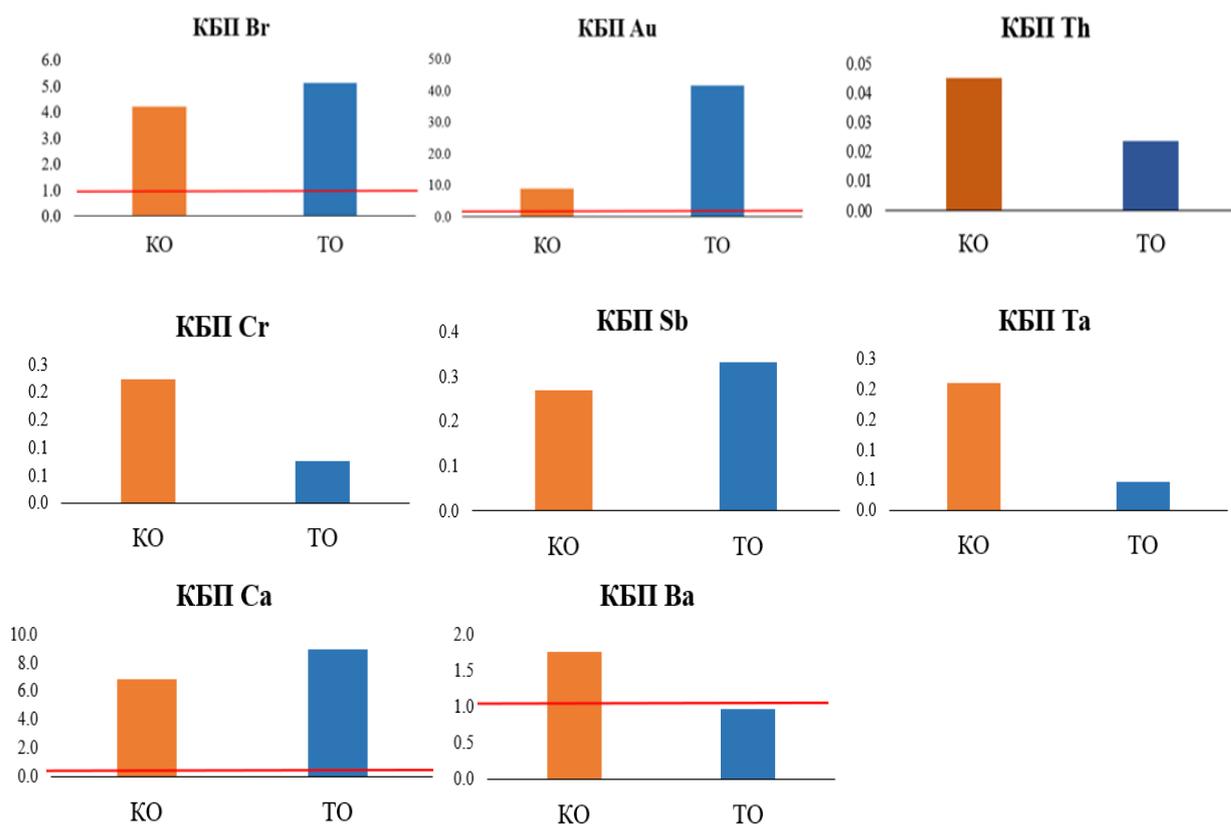


Рисунок 16 Коэффициент биологического поглощения (КБП) химических элементов в золе листьев осины на территории Томской и Кемеровской областей

Сравнительный анализ содержания химических элементов в листьях осины на территориях расположения железорудных объектов, отличающихся по ряду параметров (геологическое строение, почвообразующие породы, почвенный покров) позволил выделить общие (для двух территорий) и специфичные (для каждой из них) элементы:

- 1) ассоциация общих химических элементов в листьях осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) представлена Zn, Fe, Hf, PЗЭ, As, Sc, Ag, и U;
- 2) на территории восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) для листьев осины характерно накопление Br, Au и Th;
- 3) на территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) спектр специфичных химических элементов включает Ca, Cr, Sr, Sb, Ba, Ta.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа позволила обобщить материал, характеризующий накопление и распределение химических элементов в системе «почва-листья осины обыкновенной (*Populus tremula* L.)». На основе полученных данных проведена оценка биогеохимической специализации территорий расположения железорудных объектов Томской и Кемеровской областей.

Общими элементами, для которых характерны повышенные содержания в листьях осины на территории расположения железорудных объектов, являются Zn, Fe, Hf, PЗЭ, As, Sc, Ag и U. Спецификой элементного состава листьев осины в пределах восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) является накопление Br, Au и Th, для территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) – Cr, Sr, Sb, Ta, Ca, Ba.

Выявлено, что процессы техногенной трансформации (пыление от грунтовых дорог, разгрузочных площадок) находят отражение в изменении содержания и соотношения

редкоземельных и радиоактивных элементов. Редкоземельные элементы являются хорошими индикаторами эолового поступления химических элементов в состав растения. При интерпретации данных по распределению редкоземельных элементов, полученных с использованием природных планшетов, необходимо уделять особое внимание минерагенической и геохимической специализации территории.

Изучение пространственного распределения химических элементов по поверхности листовой пластинки показало, что есть группа элементов, характерных для листьев осины (Zn, Au), накопление которых распределено равномерно по всей поверхности листа, в то же время элементы, связанные преимущественно с эоловым привносом, характеризуются неравномерным распределением по площади листа. Таким образом, для изучения процессов аккумуляции химических элементов в листьях осины требуется отбирать пробы с растений, произрастающих на удаленных от интенсивного пыления (эолового переноса) территориях, в таком случае не потребуется отмывка листьев.

Список основных публикаций по теме диссертации

Публикации в рецензируемом журнале из списка ВАК И в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus или Web of Science

1. Арбузов С. И., Маслов С. Г., Ильенок С.С., **Перегудина Е.В.** Формы нахождения редкоземельных элементов в торфах Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 5. – С. 42-53.
2. Arbuzov S.I., Maslov S.G., Mezhibor A.M., Ilenok S.S., **Peregudina E.V.**, Finkelman R.B., Blokhin M.G. Modes of occurrence of rare earth elements in peat from Western Siberia // Journal of Geochemical Exploration. – 2018. – Т. 184. – С. 40-48.
3. **Перегудина Е.В.**, Соболев И. С., Барановская Н. В. Использование статистических показателей в оценке эколого-геохимической ситуации территории восточной части Колпашевско-Туруханской минерагенической зоны// Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2023. – Т. 334. – № 1. – С. 34-49.
4. **Перегудина Е. В.**, Ляпина Е. Е., Барановская Н. В. Эколого-геохимические особенности ртутной нагрузки на территорию юга Западной Сибири // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 12. – С. 65-75.

Статьи в журналах и материалы в сборниках научных конференций

5. **Перегудина Е.В.**, Домаренко В.А., Алтухова И. С. Прогнозная оценка воздействия на экосистему при отработке комплексных железных руд Бакчарского узла (Номская область) В сборнике: Экология и управление природопользованием. Сборник научных трудов Первой всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Вып. 1. Под ред. А. М. Адама. Томск. –2017. – С. 35-37.
6. Домаренко В.А., Савичев О.Г., **Перегудина Е.В.** Особенности распределения химических элементов в болотных экосистемах восточного Васюганья// Разведка и охрана недр. – 2017. – № 8. – С. 50-54.
7. Домаренко В.А., Савичев О. Г., **Перегудина Е.В.** Возможные изменения состояния водных объектов при разработке бакчарского железорудного узла (Томская область)// Разведка и охрана недр. – 2018. – № 2. – С. 46-50.
8. **Перегудина Е.В.** Биогеохимические особенности элементного состава листьев осины обыкновенной (*Populus tremula*) на территории Бакчарского рудного узла. В сборнике: Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине. Труды XII Международной биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева. Тула, – 2021. – С. 450-454.

9. Савичев О. Г., Домаренко В.А., Ян Х., **Перегудина Е.В.** Сравнительный анализ подземных и болотных вод в юго-восточной части Западной Сибири Разведка и охрана недр. – 2022. – № 5. – С. 26-33.
10. **Перегудина Е.В.**, Барановская Н.В. Индикаторные показатели эколого-геохимической обстановки территории восточной части Колпашевско-Туруханской минерагенической зоны в элементном составе листьев осины обыкновенной (*Populus tremula*)// В сборнике: Международная научной конференции «Современное развитие биогеохимических идей В.И. Вернадского», посвященной 160-летию со дня рождения В.И. Вернадского и 100-летию его статьи «Начало и вечность жизни». Москва, – 2023. – С. 155-165.
11. Ляпина Е.Е., **Перегудина Е.В.** Токсичные элементы в поверхностной составляющей почв Южной Сибири// Почвы и окружающая среда. Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2023).