

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

*На правах рукописи*

Перегудина Елена Владимировна

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

Специальность 1.6.21 – Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук,  
профессор Барановская Н. В.

Томск–2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОСИНЫ В КАЧЕСТВЕ ОБЪЕКТА БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ.....	13
1.1 Особенности накопительной способности осины.....	13
2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	20
2.1 Фактический материал исследования.....	20
2.2 Аналитические методы исследования.....	25
2.2.1 Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА).....	25
2.2.2 Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС)...	26
2.2.3 Электронная микроскопия.....	27
2.2.4 Атомно-абсорбционный метод.....	27
2.3 Методика обработки результатов аналитических исследований.....	28
2.4 Эколого-геохимическая характеристика территории исследования..	32
2.4.1 Западно-Сибирский железорудный бассейн.....	42
2.4.2 Таштагольское железорудное месторождение.....	44
3 ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ ОСИНЫ.....	50
3.1 Содержание химических элементов в неотмытых и отмытых листьях осины.....	50
3.2 Изменение содержания химических элементов в листьях осины в течение вегетационного периода.....	60
3.3 Пространственное распределение химических элементов в листьях осины.....	63
4 БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ПРИРОДНО- ТЕХНОГЕННЫХ ОБСТАНОВОК ТЕРРИТОРИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТОМСКОЙ И КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ.....	74
4.1 Отношение Th/U в листьях осины как индикатор эколого – геохимической обстановки.....	74
4.2 Редкоземельные элементы в составе листьев осины как индикатор пылевой нагрузки.....	81
5 СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ И ЛИСТЬЯХ ОСИНЫ НА ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	97
5.1 Эколого - геохимические особенности территории восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) на основании изучения элементного состава листьев осины.....	97
5.2 Эколого - геохимические особенности территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) на основании изучения элементного состава листьев осины.....	105
5.3 Сравнительная характеристика биогеохимических показателей территории Томской и Кемеровской областей.....	112

5.4	Сравнительная характеристика элементного состава почв на территории расположения железорудных объектов Томской и Кемеровской областей.....	118
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	126
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	128

## 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 км<sup>2</sup>, в том числе на территории Томской области около 80 000 км<sup>2</sup>). 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 м<sup>3</sup> 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; Баргальи, 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.

**Целью 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 закономерности 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.

В работе исследуются компоненты природной среды территории железорудных объектов Томской и Кемеровской областей, включающих 179 проб, в том числе почвы - 70, листья осины обыкновенной - 109.

Количественное определение химических элементов проводилось с использованием инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории (ЯГЛ) Национального исследовательского Томского политехнического университета (аналитики с.н.с. Судыко А.Ф., Богутская Л.В.), аналитическом центре ООО «Химико-аналитический центр «Плазма», г. Томск (Федюнина Н.В.), лабораторией аналитической химии центра коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН (методическая работа, ответственный исполнитель - н.с. Зарубина Н. В., анализ выполнил с.н.с. Будницкий С. Ю.). Изучение элементного и минерального состава частиц на поверхности листы осины

проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) Hitachi S-3400N (с приставкой Bruker XFlash 5010). Для изучения образцов применялся детектор обратно-рассеянных электронов (BSE) в режиме низкого вакуума (от 50 до 100 Па).

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» НИ ТПУ (с. н. с. Ляпина Е.Е.).

**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 проработки 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 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 элементы, такие как Fe и РЗЭ носят не равномерный характер и поступают в следствие эолового привноса.

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/PЗЭ.

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, 4 из которых опубликованы в журнале, индексируемом 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 природно- техногенную обстановку 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 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.

## ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОСИНЫ В КАЧЕСТВЕ ОБЪЕКТА БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ

В нашем случае объектом исследования послужили и были изучены особенности элементного состава листьев осины обыкновенной или тополя дрожащего (лат. *Pópulus trémula* L.), далее по тексту – осина, как наиболее распространенного и используемого вида лиственных пород деревьев. Интерес данный объект исследования вызывает не только его широкой распространённостью на данной территории, но и также его использованием для разработки лекарственных препаратов, у которого кроме коры используются листья, в которых присутствует разнообразный состав фенольных соединений, вырабатываемых растениями (в качестве противовоспалительных, противоревматических, обезболивающих средств в народной медицине) (Кьосев, 2002; Лобанова и др., 2011; Некрасова, 2018; Сафин, 201; Фаустова и др., 2006). В данном случае исследования листьев осины проводились в районе расположения железорудных объектов на территориях Томской и Кемеровской областей.

Существующие в настоящее время высокочувствительные аналитические способы определения состава и содержания химических элементов в вышеуказанных биообъектах позволяют считать метод биогеохимической индикации достаточно перспективным не только для поиска рудных месторождений, но и для определения степени загрязнения окружающей среды (Рунова и др., 2007).

### 1.1 Особенности накопительной способности осины

По литературным данным, еще в 80-х годах проводилось исследование осины в сравнении с другими лесными породами древовидных растений, потребление питательных веществ осиновыми насаждениями в течение года намного выше, чем древостоями других лиственных, а также хвойных пород (McColl, 1980), выражалось это в незначительной миграции Ca и Mg по сравнению с K и N. По другим данным (Vergv, 1976), в то же время в листьях осины американской (англ. *Quaking aspen*) концентрация Mg и Na в течение

вегетационного сезона была постоянна, а содержание N, K и P — уменьшается (James, 1977).

Осина в свое время рассматривалась как один из биообъектов для биогеохимических поисков рудных месторождений (Ковалевский, 1984). Автором отмечается, что наибольшие значения относительного содержания цинка в сравнении с другими исследованными биологическими объектами характерны и для коры стволов осины дрожащей. В то же время листья осины концентрируют цинк активнее, чем кора (рисунок 1.1). В данном исследовании осины (кора) была отнесена к биообъектам-концентраторам таких элементов как - Au, Zn, Rb, Sr и деконцентратором таких элементов как - Cu, Ag, Pb, Cr, Sc, Y, Yb, Ga (Ковалевский, 1974).

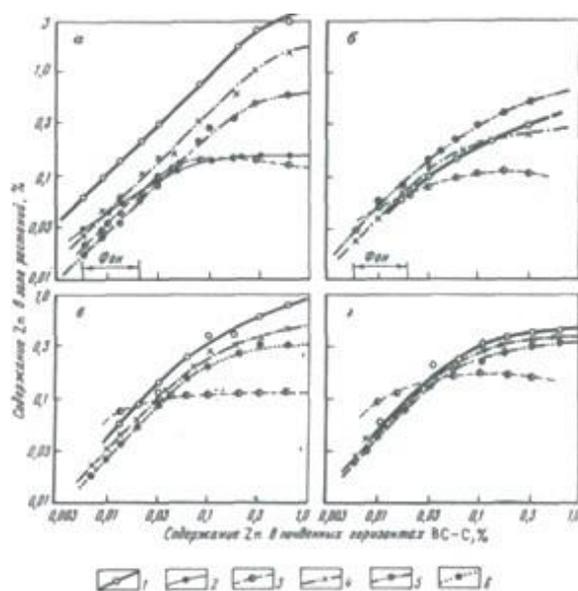


Рисунок 1.1 Графики концентрационных зависимостей между содержанием Zn в системе «почвенный горизонт ВС-С (0,5-2,0 м)- биообъекты древесных растений» (Ковалевский А.Л., 1974)

Примечание: а- береза плосколистная, б-осина дрожащая, в-лиственница даурская, г- ива козья (1- кора, 2-луб, 3- древесина, 4-ветви, 5-листья, 6-хвоя).

Как правило, в пределах месторождений полезных ископаемых вариативность содержания химических элементов различается в зависимости от видовой принадлежности растений, от типа исследуемых тканей и органов. Для листьев также наблюдается широкий разброс отдельных элементов. Так,

проведенный исследователями сравнительный анализ накопления соединений Со разными видами древесных растений Республики Казахстан (Семипалатинское Прииртышье) показал, что в сравнении с хвоей и ветками сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) листья и ветки лиственных пород деревьев характеризуются максимальным накоплением соединений Со, к тому же листья осины (*Populus tremula* L.) накапливают большее их количество по сравнению с листьями березы повислой (*Betula pendula* `Fastigiata`) (Сибиркина, 2017).

Также авторами выявлены морфометрические различия листовых пластинок осины при различных уровнях антропогенного воздействия, что в свою очередь может влиять на специфику накопления тех или иных химических элементов (Кузнецова и др., 2016).

Специфичность накопления отдельными органами осины (почки, кора) химических элементов ярко демонстрируют таблицы 1.1 и 1.2 (Мартынов и др., 2011; Мартынов и др., 2015).

Таблица 1.1 Элементный состав почек осины, определенный методом рентгенофлуорисцентного анализа (Мартынов и др., 2011)

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, мг/кг
Натрий (Na)	0,0036±0,0010	Титан (Ti)	8,6±2,0
Магний (Mg)	0,147±0,007	Хром (Cr)	<2,6
Алюминий (Al)	0,0044±0,0014	Никель (Ni)	4,2±0,5
Кремний (Si)	0,009±0,002	Медь (Cu)	15,3±1,5
Фосфор (P)	0,171±0,009	Цинк (Zn)	89±6
Сера (S)	0,06±0,03	Бром (Br)	<1
Хлор (Cl)	<0,001	Рубидий (Rb)	4,2±0,6
Калий (K)	0,329±0,016	Стронций (Sr)	66,3±6,1
Кальций (Ca)	0,849±0,016	Барий (Ba)	93,6±10,0
Марганец (Mn)	0,0119±0,001	Свинец (Pb)	<3
Железо (Fe)	0,009±0,001		

Таблица 1.2 Элементный состав коры осины (Мартынов и др., 2015)

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, мг/г
Натрий (Na)	0,014±0,002	Титан (Ti)	15±4
Магний (Mg)	0,131±0,004	Хром (Cr)	<3
Алюминий (Al)	0,035±0,003	Никель (Ni)	3,5±0,5
Кремний (Si)	0,067±0,006	Медь (Cu)	8,1±0,6
Фосфор (P)	0,113±0,002	Цинк (Zn)	106±5
Сера (S)	0,072±0,002	Бром (Br)	<3
Хлор (Cl)	0,011±0,002	Рубидий (Rb)	12,4±1,5
Калий (K)	0,675±0,016	Стронций (Sr)	180±10
Кальций (Ca)	3,38±0,02	Цирконий (Zr)	3,5±1,2
Марганец (Mn)	0,013±0,002	Барий (Ba)	254±20
Железо (Fe)	0,067±0,007	Свинец (Pb)	<3

Другими исследователями было выявлено, что у осины и березы пушистой (*Betula pubescens*) тяжелые металлы концентрировались во всех тканях ствола, в отличие от листьев, которые накапливали поллютанты в значительно меньшем количестве (Иванова и др., 2011).

В ходе эксперимента рядом исследователей было выявлено, что загрязнение атмосферы сильно влияет на хвойные и лиственные породы деревьев, и нарушает их развитие и структуру кроны (рисунок 1.2). Несмотря на то, что береза и осина считаются дымо- и газоустойчивыми породами, техногенное пылеаэрозольное загрязнение ослабляет деревья и приводит к повреждению грибами и насекомыми (Рунова и др., 2007; Смилга, 1986).

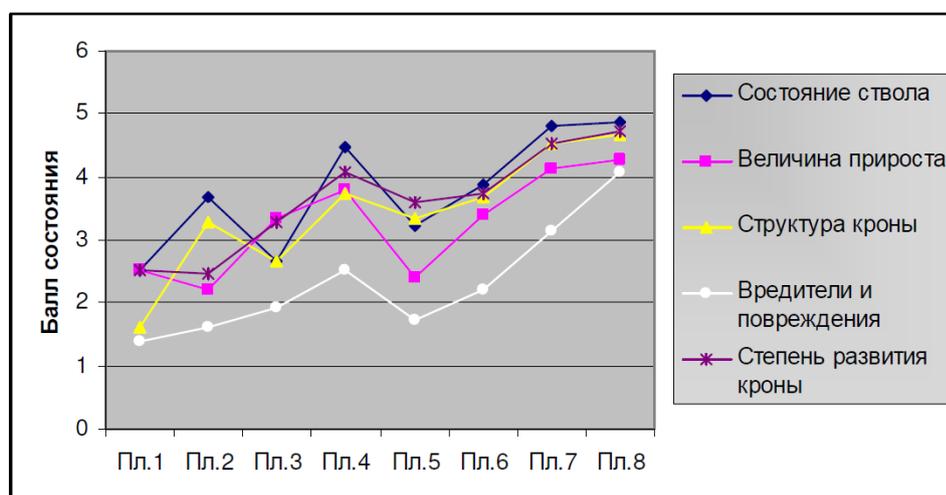


Рисунок 1.2 - Оценка факторов состояния осины

Примечание: *Пл.* - пробные площадки в зонах с различной техногенной нагрузкой в 5–7 км от территории Братского алюминиевого завода г. Братск (Рунова и др., 2007).

В то же время исследователями из института биологии Уфимского научного центра РАН был проанализирован элементный состав трех пород древесных растений методом рентгено-флуоресцентного анализа на установке WRA-2: березы повислой (*Bétula péndula*), осины (*Populus tremula* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Выявлено, что осина и береза являются наилучшими накопителями таких элементов, как Ti, Mn, Sr (таблица 1.3). Осина уменьшает распространение таких тяжелых металлов, как железо и свинец, береза – марганец. Благодаря высокой поглотительной способности органами и тканями и быстрой скорости

роста, осина и береза рекомендуются авторами для создания санитарно-защитных зон техногенных ландшафтов (Диярова и др., 2009).

Таблица 1.3 - Среднее содержание элементов (мг/кг) в листьях древесных растений в условиях отвалов Уфимского ГОК (Республика Башкортостан)

(Диярова и др., 2009)

Образцы	K	Ca	Cu	Mn	Pb	Fe	Ti	Sr
<i>Populus tremula</i>	14600	17700	2,37	290	10	640	1,8	200
<i>Betula pendula</i>	10000	15600	3,2	520	7	510	1,5	65
<i>Pinus sylvestris</i>	8600	4700	3,36	200	10	518	1,6	30

По данным зарубежной литературы, некоторые породы деревьев обладают большим потенциалом практического применения в фиторемедиации. В частности, предпочтение отдается типичным древесным породам из-за высокой биомассы их надземных частей, низких требований к окружающей среде и высокой скорости транспирации. К числу интенсивно аккумулирующих металлы относятся осина (Ni, Zn), ольха (Cr, Pb), тополь (Cd, Pb) и виды ивы (Cd, Zn) (Mleczeek et al., 2017, Van Nevel et al, 2013).

В институте лесоводства и сельской инженерии Эстонского университета естественных наук был проведен эксперимент по изменению поглощения и распределения тяжелых металлов между осинкой и гибридной осинкой (*Populus tremula* × *Populus tremuloides Michx.*) на территории бывшего цементного завода. За более чем 40 лет работы завода выбросы щелочной пыли (рН 12,3–12,6) привели к повышению рН и повышенной концентрации суммы тяжелых металлов в верхнем слое почвы (0–30 см). Накопление и распределение тяжелых металлов в стебле, побегах и листьях варьировалось между собой и между деревьями из загрязненных и незагрязненных участков (рисунок 1.3). В ходе эксперимента был сделан вывод, что концентрация тяжелых металлов в деревьях зависит от рН почвенного раствора (Mandre, 2014).

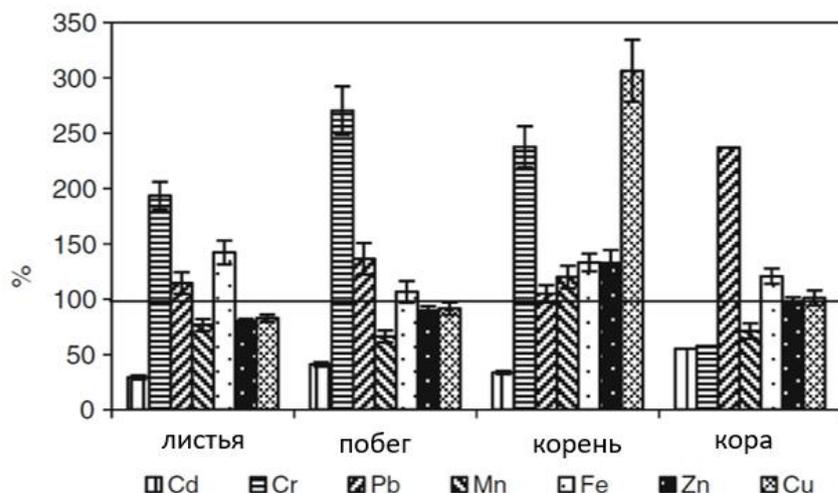


Рисунок 1.3 Накопление тяжелых металлов в различных частях гибридной осины (Mandre, 2014)

Была выявлена очень высокая концентрация общего Mn в верхнем горизонте почвы, а уровень растворимого Fe достигает минимума в щелочной среде почвы, так как присутствующее в цементной пыли Fe накапливается в верхнем слое почвы в нерастворимых формах (Mandre, 2014).

Канадскими учеными из Лаврентийского университета (Kalubi et al., 2016) было проведено сравнение накопления и перемещения металлов в красном клене (*Acer rubrum*) и осине (*Populus tremula* L.), произрастающих в Северном Онтарио. Результаты показали, что ткани листьев осины накапливают больше Ni и Zn, чем корни. Концентрации этих элементов в клене были низкими в тканях листьев, ветвей и корней по сравнению с биодоступными уровнями этих металлов в почве. У осины факторы транслокации (TF) металлов из корней в листья были низкими для Cu и высокими для Fe (0,52 до 3,26), Mg (3,39 до 5,47), Ni (2,6 до 16,4) и Zn (1,41 до 4,1). Для клена TF был низким для всех элементов Fe (0,08 до 0,17), Ni (0,26 до 0,81) и Zn (0,71 до 0,90), кроме Mg (2,62 до 4,13). В целом Cu не накапливается в тканях осины и клена, кроме того, эти два вида имеют разные механизмы взаимодействия с другими основными загрязнителями, в частности, с Ni и Zn. Осина является аккумулятором Ni и Zn, в то время как клен исключает Zn и накапливает Ni. В итоге был сделан вывод, что два вида древесной растительности используют разные механизмы для борьбы с основными загрязняющими

веществами (Ni и Zn) в исследуемом регионе. Осину можно использовать для фитоэкстракции/фитостабилизации Ni и Zn.

Вызывает интерес исследование, проведенное на юго-западе Мещерской низины (центральная часть Восточно-Европейской равнины). Были исследованы накопление и поведение Zn и Cd в 6 видах древесных растений, в том числе и в осине (*Populus tremula*). Результаты показали, что при фоновом содержании этих элементов в почвах, исследованные виды выступают мощным регулятором миграции вышеуказанных элементов, а осина накапливает высокие концентрации Zn и Cd в листьях, исследователи связывают такую особенность осины не только с ее гумидокатностью и спецификой мембранных транспортных систем, но и с особенностями метаболизма тиоловых соединений (Железнова и др., 2017).

При использовании листьев древесных растений в качестве объектов для проведения эколого-геохимических исследований на разных территориях часто встает вопрос об использовании метода отмывки, так исследователи из Университета Севильи (Испания) и Финского научно-исследовательского института леса (Финляндия) в своей статье (Rossini et al., 2003) рассматривают ряд методов очистки листьев и ее влияние на химический состав листовой. Исследование показало, что очистка влияет на содержание в листе Al, As, At, Br, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, V, T и других тяжелых металлов. Таким образом, ошибка для этих элементов может быть очень большой, если образцы не промываются. Никаких значительных изменений концентраций большинства основных элементов (N, P, K, Ca, Mg, S) и микроэлементов (B, Mn и Zn) после мытья не зарегистрировано. Данная работа была проведена авторами в условиях сильного пыления. Вопрос о влиянии фактора пылевого привноса для условно фоновых территорий остается открытым.

*На основании проанализированных литературных данных можно сделать вывод о том, что осина широко используется для биогеохимического круговорота химических элементов и их миграции в системе «почва-растение», отражает элементный состав среды произрастания и может выступать в качестве биогеоиндикатора для проведения биогеохимических исследований.*

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Фактический материал исследования

При выполнении работ были соблюдены общие методологические принципы выполнения эколого-геохимических исследований (Эколого-геохимические..., 2006). Фактический материал, был отобран и проанализирован при личном участии автора в период с 2016 по 2022 гг., представлен в таблице 2.1. Схема размещения точек отбора представлена на рисунке 2.1

Таблица 2.1 Фактический материал

Объект исследования	Кол-во проб	Место отбора
Почва	44	Томская область
	26	Кемеровская область
Осина обыкновенная ( <i>Populus tremula</i> L.)	83	Томская область
	26	Кемеровская область
<b>Итого: 179</b>		

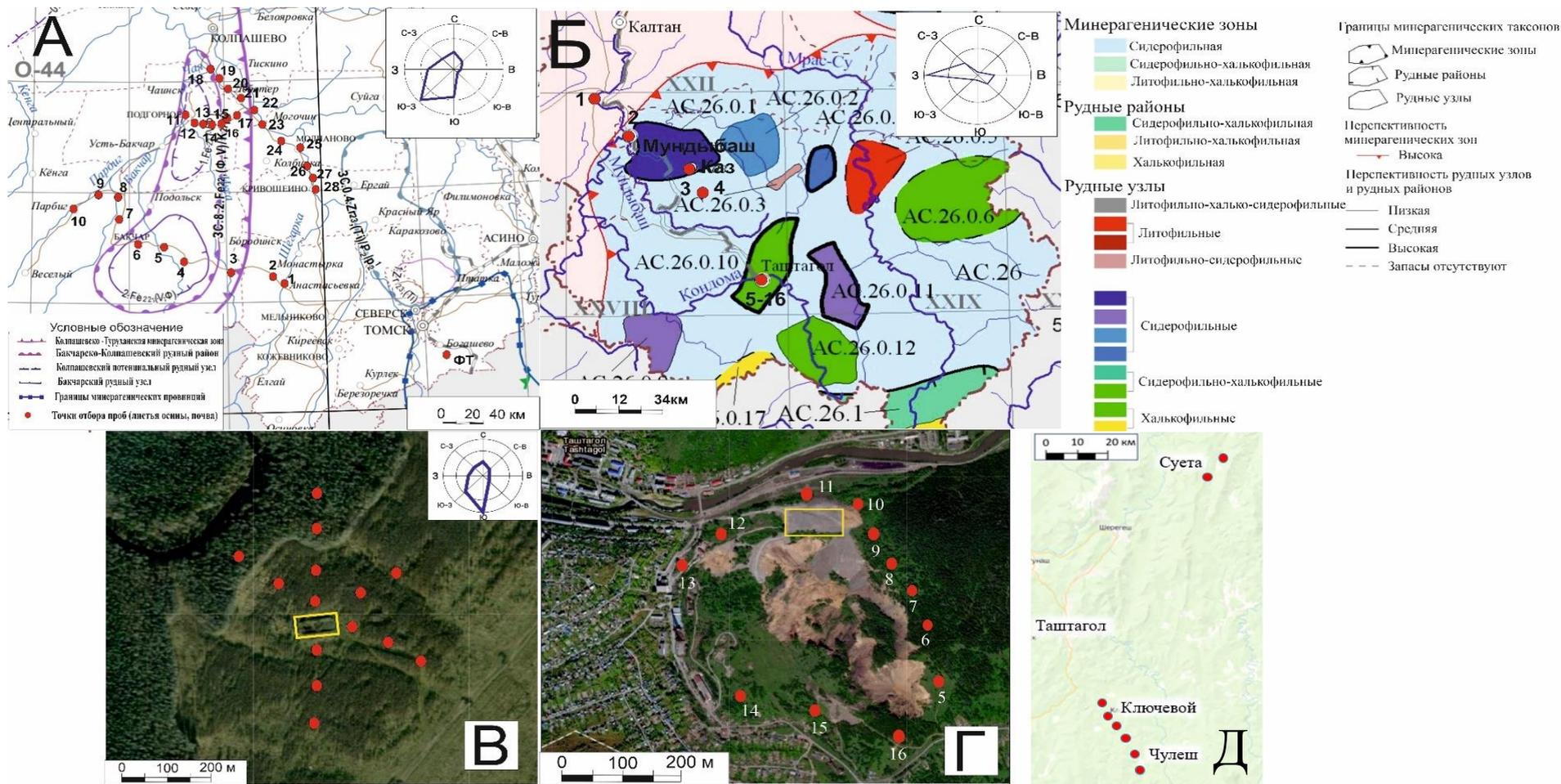


Рисунок 2.1 Схема расположения точек отбора исследуемого материала (на основе карты SASPlanet.ru с дополнениями автора) *Примечание:* ● точки отбора проб листьев и почвы: А- Томская область; Б- Кемеровская область; В- н.п. Бакчар (площадка пробной СГД); Г- г. Таштагол («воронка» - провал грунта, образовавшийся в результате обрушения старых туннелей шахты); Д – территория Шорского национального парка.

**Растительный материал.** Осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), семейство ивовых (*Salicaceae*), род тополь (*Populus*). Средняя высота до 30–40 м. Крупное листопадное дерево. Корень дерева представляет собой мощную поверхностную систему. Развитие происходит по стержневому типу, но вскоре главный корень перестаёт расти и появляются многочисленные боковые корни, часть этих корней уходит в глубь почвы на глубину 40-50 см, но в отдельных случаях корни проникают в почву и на 4,4 м, а другие расходятся в разные стороны от дерева и могут достигать расстояния до 40 м. Поверхности корней, приходящихся на одно дерево, у осины больше в разы чем у ели и березы (Смилга, 1986).

В большинстве случаев осина имеет прямой ствол и в диаметре достигает 0,5–1 м. Кора ствола тонкая, гладкая, цвет может быть от серого до светло-зелёного, с ромбическим рифлением, с годами утолщается, долго не растрескивается (рисунок 2.2).

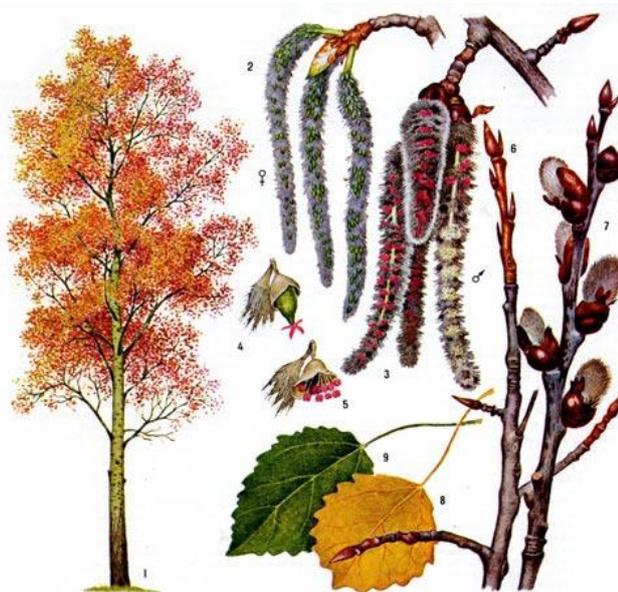


Рисунок 2.2 Осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), семейство ивовых (*Salicaceae*), род тополь (*Populus*) (Лесная энциклопедия, 1986)

*Примечание:* 1 - общий вид осенью, 2 - цветущий побег (женские серёжки), 3 - цветущий побег (мужские серёжки), 4 - женский цветок, 5 - мужской цветок, 6 - зимний побег, 7 - весенний побег, 8 - лист осины, 9 - лист порослевого побега осины.

К климатическим (температурным) условиям осина не требовательна: растет как в суровых северных, так и южных сухих районах, о чем свидетельствует ее широкий ареал. Зимостойка, не страдает от заморозков, лишь иногда у поросли обмерзают невызревшие побеги (Смилга, 1986).

По требовательности к плодородию почвы осина занимает среднее положение. Лучше всего растет на свежих суглинистых, богатых перегноем почвах, а также на легких супесях и глинистых почвах. Некоторые авторы отмечают, что осина переносит и некоторую засоленность почв (Кабалин, 1958; Колпиков, 1954; Ткаченко, 1952). Корневая система осины по сравнению с системой других пород лучше переносит токсическое действие введенных в почву разных химических элементов, о чем свидетельствуют опыты, проводимые учеными в Швеции (Eliasson, 1962, 1971, 1972).

По литературным данным (Смилга, 1986) средние морфометрические показатели листьев осины: длина листовой пластинки – 6,2 см, ширина (в месте наибольшей ширины) – 6,5 см, расстояние от вершины листовой пластинки до места наибольшей ширины – 3,5 см.

Для осины характерна весьма высокая транспирационная способность, о чем свидетельствует общая площадь пластинок осиновых листьев, которая в возрасте дерева 40 лет составляет до 50 000 м<sup>2</sup>/га (Скрябин, 1954).

В осинниках Томского Приобья выделены 5 морфологических форм осины: зелено-, зеленовато-серо-, светло-, желто- и темно-серокожая. В древесине зеленокорой формы, более устойчивой к поражению сердцевинной гнилью, отмечено повышенное содержание физиологически активных микроэлементов. (Демиденко, 1973).

В каждой точке наблюдения отбиралась проба листьев методом средней пробы, без черешков. Возраст деревьев примерно одинаковый, с внешней стороны нижней части кроны, по окружности на высоте 1,5–2 м от поверхности земли; масса одной пробы составляла 100 г сырого вещества.

Отобранные пробы листьев сушили до воздушно-сухого состояния, упаковывались в бумажные конверты и хранились в сухом прохладном месте,

для основной массы отобранных проб влажная очистка не проводилась для сохранения пылевой составляющей. Подготовка материала листьев для элементного анализа заключалась в его сухом озолении в муфельной печи при 450<sup>0</sup>С в течение 5 часов согласно ГОСТ 26929-94. Затем навеска золы весом 100±1 мг паковалась в алюминиевую фольгу.

Для проведения методических работ и условно фоновой территорией была выбрана территория СНТ Пчелка, расположенное в 20 км к югу от города Томска.

Пробы листьев осины отбирались в течение всего вегетационного периода на одной точке пробоотбора с трех деревьев по окружности на высоте 1,5–2 метра. Отбор проб проводился с начала июня (04.06.2022) по конец августа (28.08.2022), каждую неделю с равным промежутком времени. Перед высушиванием проба листьев делилась на две части, одна часть пробы сразу сушилась, вторая часть отмывалась для удаления элементов, осаждающихся на поверхности листа. Сначала простой водой из-под крана, прочно приставшие частицы удалялись лёгким протиранием поверхности листа ватным диском, затем листья промывались дистиллированной водой по методике (Зырин, 1981) и высушивались. Листья осины озолялись до серой золы при 450<sup>0</sup>С по стандартной методике (ГОСТ 26929-94). Зольность составила от 6 до 10%. После озоления проб был проведен инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА).

**Почва.** Отбор почвы был проведен в соответствии с ГОСТ (ГОСТ 17.4.3.01-2017; ГОСТ 17.4.4.02-2017), а также методическими наработками коллектива ИМГРЭ (Комплексная ..., 1997) в местах отбора растительного материала, методом «конверта» из пяти точек, глубина отбора 0-20 см в зоне расположения основной части корневой системы. Пробоподготовка включала: предварительное высушивание почвы, удаление сторонних включений, просеивание на сите диаметром отверстий в 1 мм, истирание до состояния «пудры» в виброистирателе.

## 2.2 Аналитические методы исследования

### 2.2.1 Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА)

Определение концентраций 28 химических элементов в золе листьев и почве проводили инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) по аттестованной методике (НСАМ ВИМС № 410-ЯФ) в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (ТПУ) (аттестат аккредитации RA.RU.21AB27 от 08.04.2015, аналитики - с.н.с А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Плотность потока тепловых нейтронов в канале облучения составляла  $2 \cdot 10^{13}$  нейтр./ $(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ . Измерения проводились на гамма-спектрометре с германий-литиевым детектором ДГДК-63А. Исследования проводились с использованием стандартного образца сравнения – лист березы (рисунок 2.3). Предел обнаружения элементов в зависимости от их активационных свойств и состава матрицы анализируемой пробы в основном колеблется от  $n \cdot 1$  до  $n \cdot 10^{-6} \%$ .

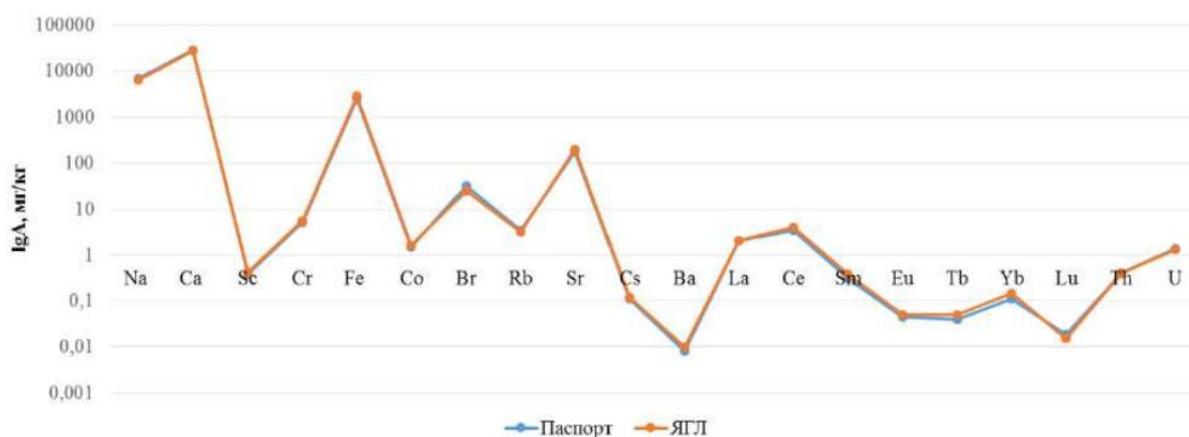


Рисунок 2.3 Сопоставление результатов ИНАА (паспорт-стандарт МАГАТЭ «Листья березы»; ЯГЛ – ядерно-геохимическая лаборатория ТПУ)

Пробоподготовка для проведения ИНАА включала: упаковку пробы (зола листьев, почва) в пакетик из алюминиевой фольги размером 3 x 3 см. Пакетик был обработан спиртом и сформирован с помощью пинцета; определялся вес пустого пакетика и общий вес с пробой.

## 2.2.2 Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС)

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) – современный метод определения элементов в малых (мкг/кг) и сверхмалых (нг/кг и менее) концентрациях. Он основан на использовании индуктивно-связанной плазмы в качестве источника ионов и масс-спектрометра для их разделения и детектирования и позволяет определять практически все химические элементы в одной навеске за минимальный промежуток времени (около 1 мин.). Анализ проводился в ООО «Химико-аналитический центр «Плазма» (г. Томск. Аккредитована в национальной системе аккредитации RA.RU. 516895, директор – Н.В. Федюнина) - 5 проб и в Центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН, спектрометр Agilent 8800 (Agilent Techn., США), (г. Владивосток. Анализ выполнил с.н.с. С. Ю. Будницкий, методическая работа, ответственный исполнитель - н.с. Н. В. Зарубина) – 16 проб (рисунок 2.4).

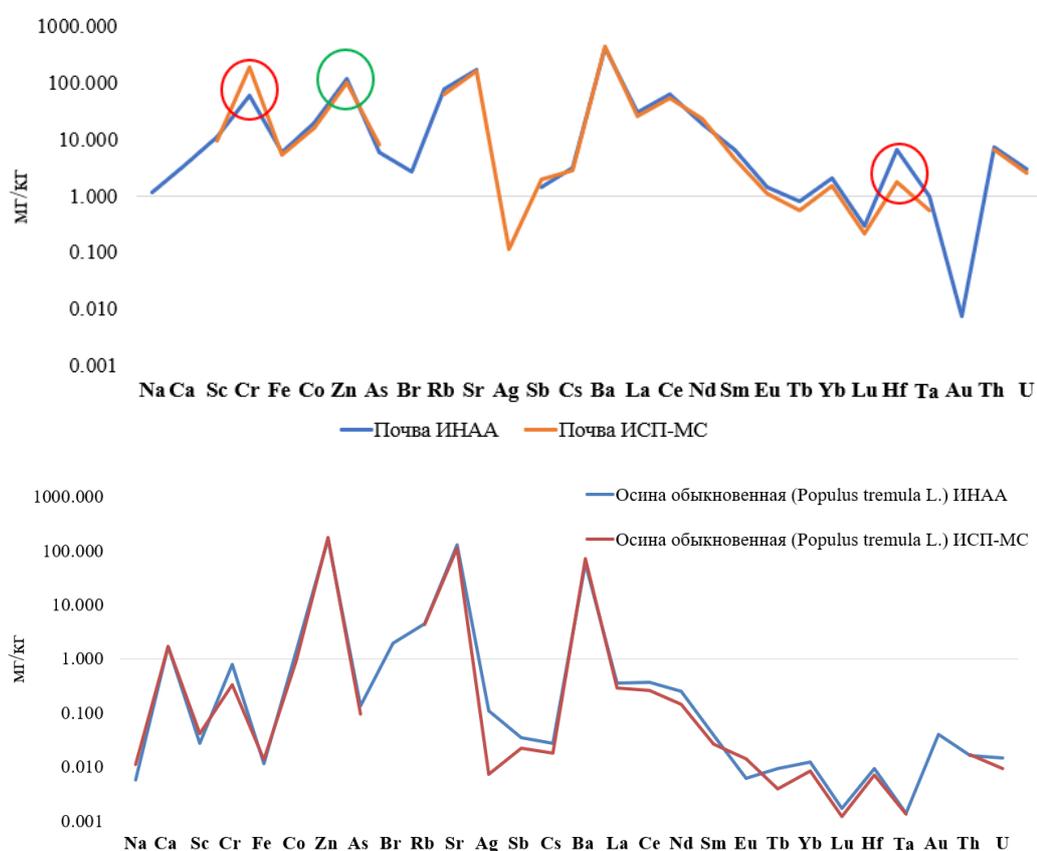


Рисунок 2.4 Сопоставление результатов ИНАА и ИСП-МС

Пробоподготовка для ИСП-МС включает следующие этапы: навески сухой пробы помещали в пробирку, добавляли  $\text{HNO}_3$ , затем добавляли  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Пробирки помещали в печь и выдерживали при  $160^\circ\text{C}$  в течение 30 мин.

### **2.2.3 Электронная микроскопия**

Изучение элементного и минерального состава частиц на поверхности листьев осины проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) Hitachi S-3400N (с приставкой Bruker XFlash 5010 с разрешением 129 eV для проведения рентгено-спектрального анализа). Приставка обеспечивает обнаружение элементов от бора до америция, предел обнаружения 1%. EDS предоставляет информацию об элементах и химических компонентах, составляющих твердые частицы. При выборе образцов для проведения SEM учитывался геохимический состав проб с высокими концентрациями РЗЭ по имеющимся результатам ИНАА. Для изучения образцов применялся детектор обратно-рассеянных электронов (BSE) в режиме низкого вакуума (от 50 до 100 Па) (консультант к.г.-м.н. С.С. Ильенок, старший преподаватель отделения геологии ИШПР ТПУ)

По результатам исследования были получены снимки частиц, обнаруженных на поверхности листа, определен их химический состав, и проведено картирование распределения отдельных элементов.

### **2.2.4 Атомно-абсорбционный метод**

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 лаборатории микроэлементного анализа в составе Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» при отделении геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета. Анализ

проводился к.г.-м.н., с.н.с. лаборатории физики и климатических систем ИМКЭС СО РАН Е.Е. Ляпиной.

### **2.3 Методика обработки результатов аналитических исследований**

Обработка и обобщение результатов аналитических исследований проводилась при помощи следующего программного обеспечения: Statistica 6, OFFICE MICROSOFT 365, при построении карт-схем в свою очередь использовались CorelDRAW Graphics Suite 2019 и Surfer 13. Статистическая обработка результатов проводилась по следующим параметрам: оценка числовых характеристик содержаний химических элементов (среднее геометрическое, стандартное отклонение, минимальные и максимальные значения, коэффициент вариации). Соответствие распределения химических элементов гипотезе нормального закона распределения проводилось с использованием критерия Колмогорова-Смирнова (при  $n > 50$ ) и Шапиро-Уилка (при  $n > 50$ ). Оценка значимости различий выборочных совокупностей выполнена с использованием критерия Краскел-Уоллиса. Различия принимались значимыми при  $p$ -уровне  $p < 0,05$ . Оценка характера и силы взаимосвязи между химическими элементами проводилась с использованием критерия Спирмена.

Для характеристики корреляции между содержаниями двух химических элементов рассчитывались парные коэффициенты корреляции по критерию Пирсона для нормального распределения и Спирмена при отличии распределения от такового. При этом оценка значимости корреляции рассчитывалась с помощью счетчика вероятности на уровне значимости  $p = 0,05$  для заданного объема выборки (Михальчук и др, 2006).

В работе рассчитаны и описаны следующие показатели:

Для осины сравнения с концентрациями, рассчитанными для «эталонного растения» по В. Markert (1992), было рассчитано содержание в сухом веществе [1]:

$$C_{c.v} = C_z * K_{oz}, [1]$$

где  $C_z$  – содержание химического элемента в золе растений,  $K_{oz}$  – коэффициент озоления, равный частному от деления веса золы на вес навески сухого материала, взятого для озоления.

Оценить геохимическую обстановку района исследования можно при помощи специальных показателей – ландшафтно-геохимических коэффициентов. Один из таких показателей – коэффициент концентрации, который позволяет оценить способность химического элемента концентрироваться или рассеиваться [2].:

$$Kk_c = C/C_\phi, [2]$$

где  $C$  – содержание элемента в исследуемой среде,  $C_\phi$  – его фоновое содержание. В качестве фонового содержания в работе использовались медианные значения, рассчитанное для всей выборки; для почв использовался кларк верхней части континентальной земной коры (Касимов, Власов, 2015; Григорьев, 2009). Для осины дополнительно использовалось среднее содержание химических элементов в «эталонном растении» по В. Markert (1992), кларк ноосферы (Глазовская, 1982,1988) и среднее (медиана) содержание химических элементов в золе листьев рода тополь (Юсупов, 2022). Значение  $Kk_c > 1$  указывает на накопление данного элемента в сравнении с фоновым значением, значимо накапливающимися считались элементы с коэффициентом более 1. Далее составлялся геохимический ряд, который представляет собой ранг элементов в порядке убывания  $Kk_c$ , с указанием коэффициента в скобках.

Для отбрасывания крайних значений при оценке принадлежности крайних максимальных и минимальных значений к выборочной совокупности использовали следующие критерии, рассчитываемые по формуле (согласно справочным материалом (Шестаков, 1988):

$$\tau' = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_2}; \tau'' = \frac{X_2 - X_1}{X_{n-1} - X_1} [3]$$

где  $\tau'$  – критерий оценки наибольшего значения,  $\tau''$  – наименьшего,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_{n-1}$ ,  $X_n$  – первое, второе, предпоследнее и последнее значения выборочных данных, упорядоченных по возрастанию.

Выделение геохимических аномалий проводилось по величине порога аномальности ( $C_A$ ) – наименьшему значению содержания химического элемента, которое можно считать с некоторой степенью вероятности выходящим за пределы колебания фона. Этот параметр связывает уровень геохимического фона со стандартным отклонением при нормальном распределении. Вероятность попадания некоторого количества проб в число аномальных за счет случайных колебаний фона зависит от выбора величины  $t > 0$ . Если принять  $C_A$  на уровне  $t = 3$  («жесткий» вариант), вероятность ошибочного отнесения колебаний фона в разряд геохимических аномалий составит 99,86 % (Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений, 1983):

$$C_A = C_\phi + t \times S, [4]$$

где  $C_\phi$  – медианное содержание элемента,  $S$  – стандартное отклонение.

Были определены коэффициенты биологического поглощения относительно почв (КПБ) [5]:

$$\text{КБП} = C_z / C_n, [5]$$

где  $C_z$  – содержание химического элемента в золе растений,  $C_n$  – содержание химического элемента в почве, на которой произрастает растение.

Для устранения характерного для РЗЭ распределения была проведена нормализация на североамериканский сланец (NASC).

Соотношения редкоземельных и радиоактивных (Th, U) элементов часто используются для выявления особенностей компонентов природной среды.

Такие показатели являются индикатором смены геохимических условий (Эколого-геохимические..., 2006; Барановская и др., 2015).

По литературным источникам некоторые авторы связывают пылевой привнос в листья растительности поступлением редкоземельных элементов (РЗЭ) на поверхности листа. Было отмечено, что состав изученных листьев определяется химическим составом атмосферной пыли, и, в частности, положительная аномалия La отражает антропогенное воздействие (Censi et al, 2017). Что позволило нам привлечь РЗЭ для выявления антропогенной нагрузки на исследуемых территориях. Также сумма РЗЭ базируется на значениях концентрации целой группы химических элементов, в таком случае она статистически устойчива и существует высокая природная корреляция между РЗЭ, это позволяет использовать эту группу элементов для индикатора пылевой нагрузки и как один из наиболее информативных инструментов анализа эколого-геохимической информации природных планшетов (Перегудина и др, 2023).

$$K_{кс} / \sum(K_{кс} P_{ЗЭ} / n), [6]$$

Где  $K_{кс}$  – коэффициент концентрации элемента;  $\sum(K_{кс} P_{ЗЭ} / n)$  – сумма коэффициентов концентрации РЗЭ;  $n$  - число используемых элементов.

Внутренний контроль проводился путем повторного отбора проб по заданным точкам в течении 2019 и 2020 гг. (рисунок 2.5)

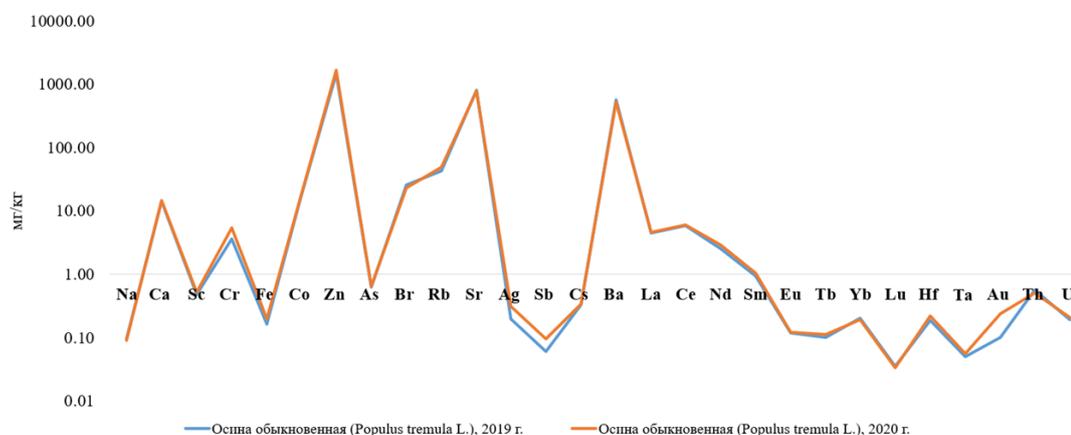


Рисунок 2.5 Сопоставление результатов отбора проб осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) 2019 и 2020 гг. (ИНАА)

## 2.4. Эколого-геохимическая характеристика территории исследования

В административном плане территории исследования находятся в Томской и юге Кемеровской областях (Горная Шория). Томская область расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины. В географическом плане территория приурочена к южной части Западно-Сибирской равнины. В пределы региона входит южная часть Среднеобской низменности (90–100 м), Васюганская равнина (140–152 м) и северные районы Барабинской низменности (115–120 м). Фундамента Западно-Сибирской платформы выделяются два структурных этажа. Нижний этаж (складчатый) представлен геосинклинальными, метаморфизованными и дислоцированными породами докембрия и палеозоя (от кембрия по карбон включительно), прорванными интрузивными образованиями различного состава и возраста. К верхнему (промежуточному) этажу фундамента относятся тафрогенные (рифтогенные) эффузивно-осадочные породы пермской и триасовой систем. Гетерогенный фундамент перекрыт мезозойско-кайнозойским осадочным чехлом, сложенным морскими и континентальными образованиями юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. Нижняя граница пород платформенного чехла проводится достаточно уверенно: по контакту неметаморфизованных субгоризонтально залегающих осадочных отложений юры и мела с кристаллическим, складчато-метаморфизованным вулканогенно-осадочным комплексом. Район исследования относится к структурно-фациальным районам: Нарымскому (Палеоген и Миоцен), Омско-Ларьякскому и Колпашевскому (Верхний мел (без Сеномана), Сильгинскому и Ажарминскому (Келловей - Верхняя юра), Колпашевскому и Нижнечулымскому (Нижняя-средняя юра), Колпашевскому (Протерозой и Палеозой) (Объяснительная записка. Лист О-(44)-Колпашево, 2020).

В Томской области почвообразующие породы имеют различный источник происхождения - аллювиальный, озерно-аллювиальный, озерный, водно-ледниковый, местами эоловый. Почвенный покров разнообразен:

автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные, так же характерен повышенный гидроморфизм, обусловленный заболоченностью территории.

*Автоморфные почвы* занимают около 46% и приурочены к повышенным элементам рельефа: подзолистые, серые лесные и черноземы. В северной и центральной частях области наиболее развиты *подзолистые почвы, сильноподзолистые почвы и подзолы, дерново-подзолистые*. В южной части области *серые лесные, светло-серые, серые, темно-серые, черноземы оподзоленные и выщелоченные*.

Формируются группы почв: *полугидроморфные* (болотно-подзолистые, лугово-черноземные, серые лесные с глеевыми почвами); *гидроморфные*, где важным моментом является болотный почвообразовательный процесс на болотах и в поймах рек. Аллювиальные дерновые, дерново-слоистые, дерново-глеевые, болотные почвы выделяются на поймах рек (Национального атласа почв Российской Федерации, эл.в.). Две природные зоны характерны для Томской области - тайга и лесостепь. Древовидная растительность представлена пихтой сибирской (*Abies sibirica*), кедром сибирским (*Pinus sibirica*), елью (*Pinaceae Lindl*), а также осинкой (*Populus tremula L.*) и березой.

В Томской области насчитывается 112,9 тыс. озер с суммарной площадью зеркала 4451 км<sup>2</sup>. Площадь озер варьируется от менее 0,1 км<sup>2</sup> до свыше 10 км<sup>2</sup> (водораздельные и пойменные). Генезис водораздельных озер связан с развитием болотообразующих процессов. Годовое количество осадков по территории области изменяется в среднем от 400 до 570 мм. Больше всего осадков выпадает на западе области, на востоке и северо-востоке при приближении к Среднесибирскому плоскогорью (Евсеева, 2001). Район исследования входит в гумидную зону. В области высокая степень заболоченности - около 30 %. Основной тип болот - верховые (сфагновые олиготрофные). Выделяются три наиболее заболоченных района: Бакчарский, Парабельский и Александровский. Характерной чертой исследуемого района является близкое к дневной поверхности залегание грунтовых вод. Глубина залегания первого водоносного горизонта колеблется от 1,0 до 30,0 м и зависит

в первую очередь от рельефа, который и определяет условия дренирования в пределах междуречных равнин. Водовмещающие породы – чаще всего пески и супеси, мощность которых составляет от 0,5 до 30 м и более. Воды пресные, гидрокарбонатные, кальциевые, натриевые и магниевые, с минерализацией 0,2–0,6 г/л (Евсеева и др., 1990).

Сложное геологическое строение района и широкое развитие глинистых водоупорных отложений, залегающих на различных отметках, приводит к образованию напорных вод (Удодов и др., 1963).

Сотрудниками бывшей кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ и ныне отделения геологии ИШПР уже на протяжении нескольких десятилетий (П.А. Удодов, Н.М. Рассказов, А.Д. Назаров, С.Л. Шварцев, Т.Я. Емельянова, О.Г. Савичев, Н.В. Гусева) проводятся гидрогеологические, гидрогеохимические исследования данной территории. Все результаты исследований собраны и обобщены в монографии и статьях (Рассказов и др., 1971; Нейштадта, 1977). В них достаточно подробно представлены вопросы образования и распространения болот в Западной Сибири, впервые для региона охарактеризованы гидрогеологические условия развития болот, химический состав, геоморфология, геохимические типы болотных вод.

По данным (Иванова и др., 2015) подземные воды района Бакчарского железорудного месторождения находятся в 5-ти горизонтах, и практически во всех присутствуют повышенные и высокие содержания ионов Fe (до 10 мг/л), Mn и органического вещества. Выявлено, что в основном все подземные воды, находящиеся над рудным телом, содержат повышенные и высокие концентрации ионов Fe. В водах ниже рудной залежи (ипатовская свита) концентрации Fe уменьшаются в 6 раз от среднего значения. Такая же картина характерна для Mn. Химическая специализация вод района показана в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Осредненный химический состав вод пяти горизонтов в районе Бакчарского железорудного месторождения (Иванова и др., 2015)

Повышенные содержаниями	Пониженные значениями	Ниже пределов обнаружения
Ca, Fe, Sr, Mn, P единично Na, As, B, Li, Ni, La.	Zn, Ti, Cr, Mo, Pb, Y, V, Cu, Ge, Ga, Zr, Cs, Sb.	Nb, Cd, Sn, Ce, Pr, Sm, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Tl, Bi,

С глубиной в воде увеличивается содержание Na, K, Li, B, V, Cr, As, Sr, Mo, Sb. Концентрации таких элементов, как Ca, Fe, Si, Mn, Zn, наоборот, падают.

Южная часть Кемеровской области, примерно четверть общей территории, образует обособленную геоморфологическую структуру, так называемую Горную Шорию, где сходятся в сложный горный узел хребты Северо-Восточного Алтая, Кузнецкого Алатау и Салаирского кряжа. Горный массив Горной Шории вытянулся с севера на юг на 170 километров, с запада на восток - на 100 километров и составляет 13,5 тысяч квадратных километров (Варламов, 1989). Территория находится на стыке локальных тектонических зон: томской, ниже-томской, бийско-катунской и мрасской. (Карта тектонического районирования Сибирского федерального округа Кемеровская область, 2001). Почвы представлены в основном тяжелыми суглинками, дерновыми и лесными светло-серыми почвами, бурыми горно-таежными, также встречаются серые лесные: луговые и лугово-болотные почвы. Основными почвообразующими материнскими породами являются щебенистые сланцы с небольшим количеством землянистой массы, которые залегают на глубине 100-105 см. В тех местах, где рельеф более сложен, обломки пород выходят на поверхность и, наоборот, при более спокойных формах рельефа и отсутствии интенсивного смыва поверхностной массы почвы, коренная порода находится значительно глубже от поверхности.

Почвы характеризуются слабой дренированностью, замедленной скоростью геохимических стоков и миграцией продуктов почвообразования в пределах почвенного профиля (Подурец, 2015). Наиболее распространённые типы почв – литосоли (формируются на плотных скальных породах в условиях горно-эрозионного почвообразования, мощность не превышает 10 см) и подзолистые (типичные почвы хвойных, или северных («бореальных») лесов, мощность составляет 5-10 см).

Проведенные исследования почвы на Одра-Башском железорудном месторождении (юг Западной Сибири) показали, что минералогический состав фоновых бурых горно-таежных почв указывает на то, что основные минералы, присутствующие в них, унаследованы от подстилающих пород. Так же авторы (Середина В. П. и др., 2017) отмечают, присутствие железосодержащих минералов – гематита и пирита.

Растительность района в основном представлена черневой тайгой с преобладанием пихты сибирской (*Abies sibirica*) и осины (*Populus tremula* L.), с участием сосны сибирской (*Pinus sibirica*). (Кадастровые сведения о Шорском национальном парке за 2017 – 2020 гг.)

Основными водными артериями района являются реки: Кабырза, Тельбес, Мрас-Су, Мундыбаш и основная река Горной Шории Кондома (392 км), типичные горные водотоки с порожистым и валунистым руслом, питание в основном смешанного типа; оно идет главным образом за счет талых вод сезонных и высокогорных снежников и ледников и в меньшей степени за счет дождевого стока и подземных вод.

Также ситуация усугубляется присутствием природных источников поступления химических элементов на территориях Томской и Кемеровской областей, где распространены угольные залежи Центральной Сибири (Be, Ge, Se, Au, Sc, U, Co, As, Sb, Mo, Nb, Y, Zr и лантаноиды (Арбузов и др., 2009)). В Томской области присутствуют месторождение железистой, оолитовой руды и железистых песчаников (Парбигское) располагается в верховье р. Парбиг, на западе от села Бакчар располагается месторождение суглинков, Бакчарское

месторождение подземных вод располагается в юго-западной части с. Бакчар. В торфах Западной Сибири был установлен региональный элементный химический состав для верхового типа максимальные концентрации выявлены для Ca, Sr, Ba, Cr, Hf, La, Sm, Fe, Co, Ce, Eu, для низинных торфов Ca, Fe, Sr, Sc, La, Th, Eu. (Веретенникова, 2013). В работах (Савичев и др, 2019) отмечается, что в торфяной залежи вследствие сорбционных процессов на гидроокислах железа, а также на малорастворимых соединениях кальция в нижних слоях торфяной залежи происходит осаждение гидроокислов, фосфатов и карбонатов ряда микроэлементов и редкоземельных элементов. В процесс торфонакопления группа РЗЭ связана с органическим веществом и имеет подвижную форму, а группа РЗЭ присутствует в форме устойчивых минералов (Арбузов, 2016; Перегудина и др., 2016; Сорокина и др., 2019).

Отмечается проявление фосфоритов, титансодержащих минералов и циркония Sc, Yb, Lu, Ta, La, Ce, Sm, Eu, Th, U (Кропанин, 1997; Рихванов и др., 2001; Черняев и др., 2001) (рисунок 2.6).

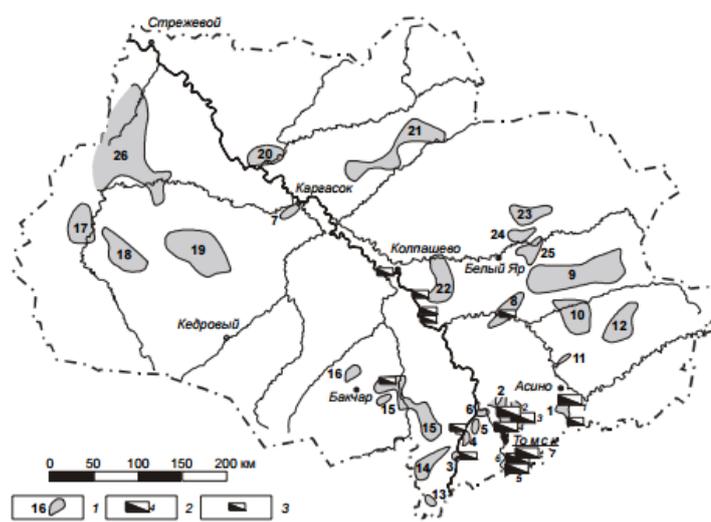


Рисунок 2.6 Схема расположения угленосных площадей, месторождений и проявлений бурого угля Томской области (Черняев и др., 2001)

Примечание: 1 - угленосные площади в пределах угленосных районов Бакчаро-Чаинского (15 – Бакчарская, 16 – Хуторская); 3 – проявление бурого угля.

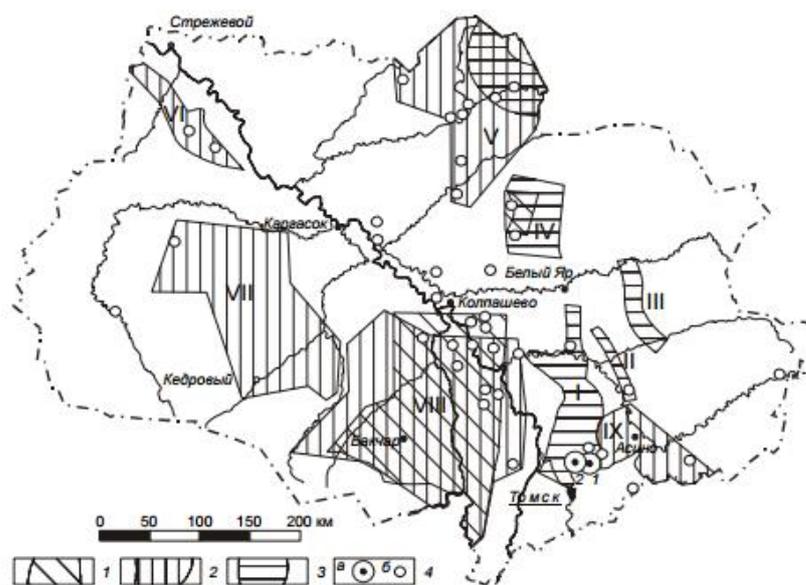


Рисунок 2.7 Схема распространения ильменит-цирконовых россыпей, проявлений и месторождений на территории Томской области (Черняев и др., 2001)

*Примечание: 1-3 – площади распространения ильменит-цирконовых россыпей: 1 – поздне мелового (маастрихт-датского) возраста (ганьковская свита и верхнесымская подсвита), 2 – ранне- и среднеэоценового возраста (люлинворская, кусковская и чурбикская свиты). Названия прогнозных площадей: VIII – Кенга-Бакчарская.*

Кемеровская область является горнопромышленным регионом с наиболее густонаселенной территорией азиатской части Российской Федерации (~28 чел/км<sup>2</sup>). Именно в Кузбассе добывается более половины каменного угля от общей российской добычи. В состав области входит 34 муниципальных образования, из них только в 12 нет угледобывающих предприятий, но они являются пограничными (регион уже лидирует по площади нарушенных земель в России).

Они условно разделены на 3 категории по степени влияния угледобычи на окружающую среду (Оценка экологической емкости..., 2006). Таштагольский муниципальный округ входит в третью категорию, вне зоны влияния техногенной нагрузки рисунок 2.8 (Железнов, 2021).

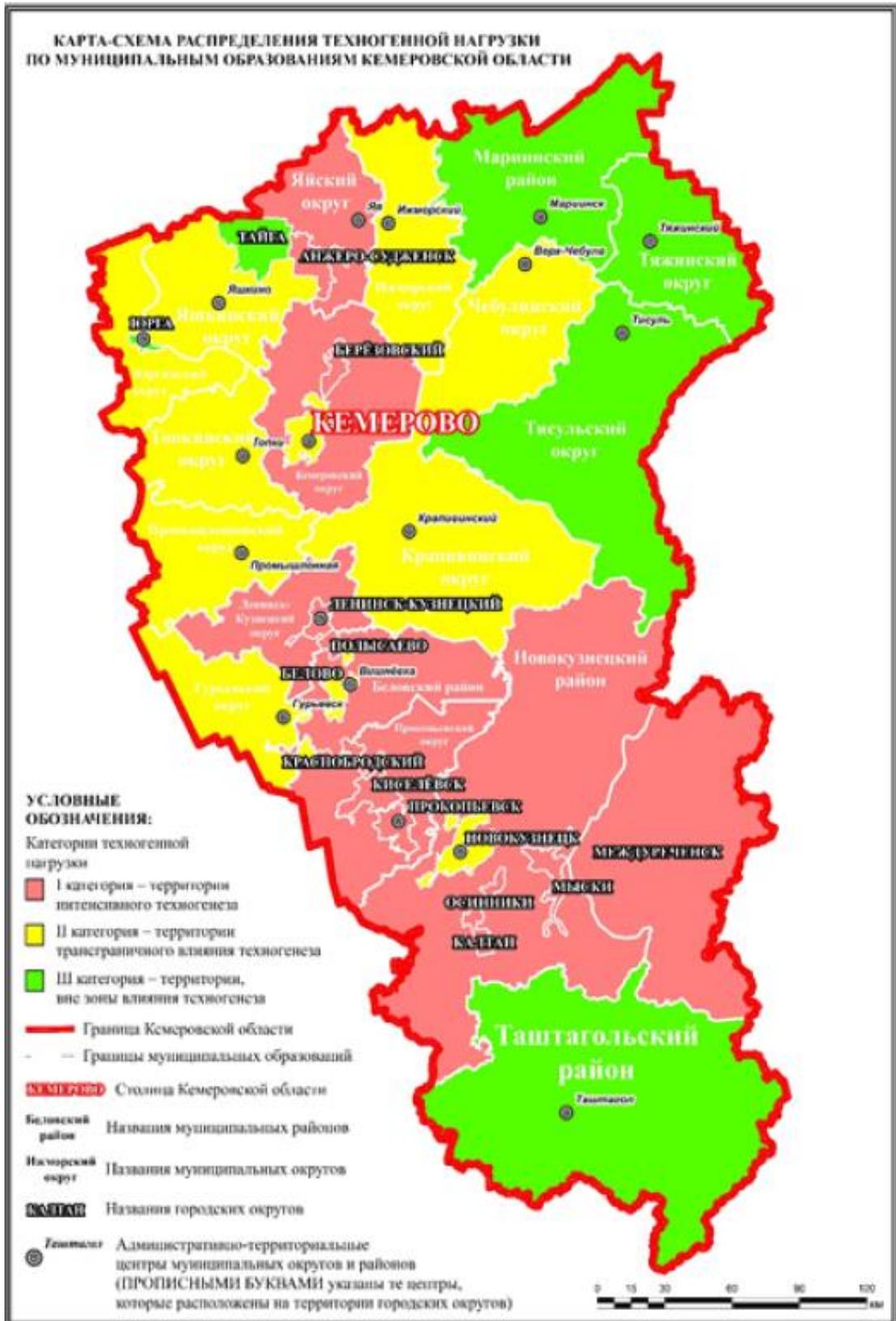


Рисунок 2.8 Зонирование территории Кемеровской области по объемам добычи угля и степени влияния угледобычи на окружающую среду в 2020 г.

(Железнов, 2021)

На территории исследования от Мундыбаша до Таштагола на базе минерально-сырьевого потенциала района сложилась горнодобывающая промышленность. Все месторождения, большинство проявлений и пунктов минерализации сосредоточены в Алатауско-Горношорском марганцево-железородном полихронном полиформационном минерагеническом поясе, который объединяет Ампалыкско-Федотовский, Шипилинско-Карышский, Тельбесский, Кондомский, Тейско-Балыксинский железорудные районы, ряд узлов.

Железооруденение представлено магматогенным, гидротермально-метасоматическим, вулканогенно-осадочным, осадочным, метаморфогенным, кор выветривания генетическими типами, гидросиликатно-скарновым магнетитовым, собственно скарново-магнетитовым в карбонатных толщах, гидротермально-метасоматическим альбит-скаполитовым подтипами, проявилось в раннем (Терсинский рудный узел), среднем (Кондомский рудный район) и позднем (Шипилинско-Карышский рудный район) кембрии, раннем девоне (Тельбесский рудный район). Наиболее крупные, богатые, ныне разрабатываемые месторождения (Таштагольское, Шерегешское, Казское и др.) носят полихронный и полигенетический характер (Объяснительная записка, Лист N-45-, Новокузнецк, 2007). *Тельбесский рудный пояс*: Казское железорудное месторождение, Темир-Тауское железорудное месторождение (В, Au, Co, Zn, Mn, Mo, Pь, As, F); *Кондомско-Ташелгинский рудный пояс*: Шерегешское железорудное месторождение (Fe, Zn, Co, S, P); Таштагольское железорудное месторождение (Fe, Zn, Co, S). Добыча нерудного сырья- Темир-Тауское месторождение доломитов представлено темным и светло-серым мрамором (Fe, Al, Mg, Ca, Si) и золотодобывающая - Каларское рудопроявление; прииск "Алтайский" (Au) (рисунок 2.9 и 2.10).



Рисунок 2.9 Фрагмент геолого-экономической карты Кемеровская область (Сибирский федеральный округ), г. Новокузнецк, 2005 г.

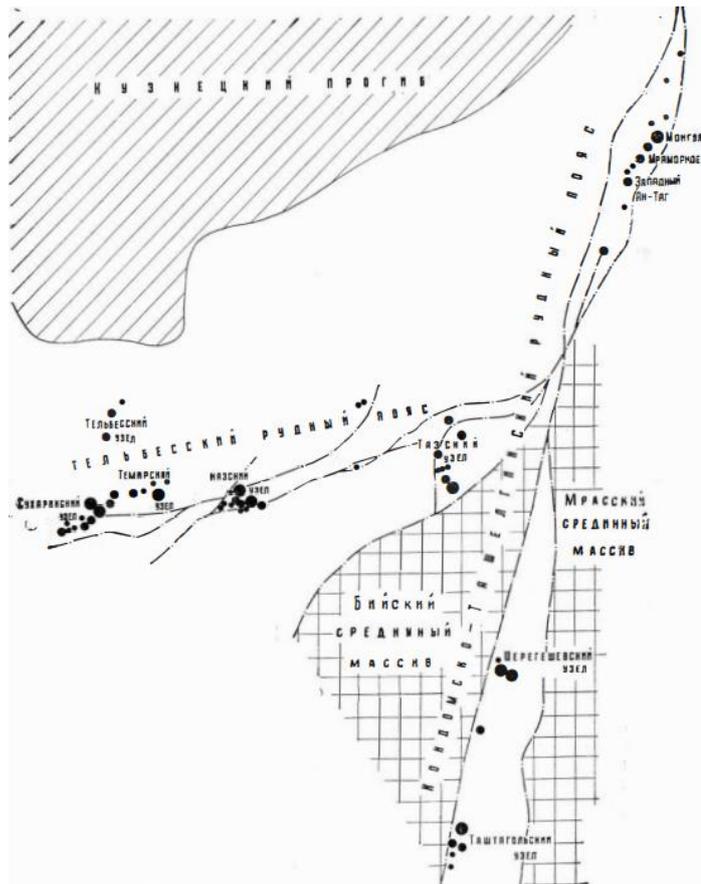


Рисунок 2.10 Железорудные пояса и рудные узлы Горной Шории (Синяков, 1975)

Из перечисленных природных источников особый интерес вызывает общая геохимическая аномалия природного характера, это железорудные месторождения, которые являются источниками поступления в природную среду тяжелых металлов, Fe и элементов спутников.

#### 2.4.1 Западно-Сибирский железорудный бассейн

Наибольшее значение среди полезных ископаемых имеет Бакчарское месторождение осадочных железных руд, являющееся частью Западно-Сибирского железорудного бассейна (Шахов, 1964; Николаева, 1967).

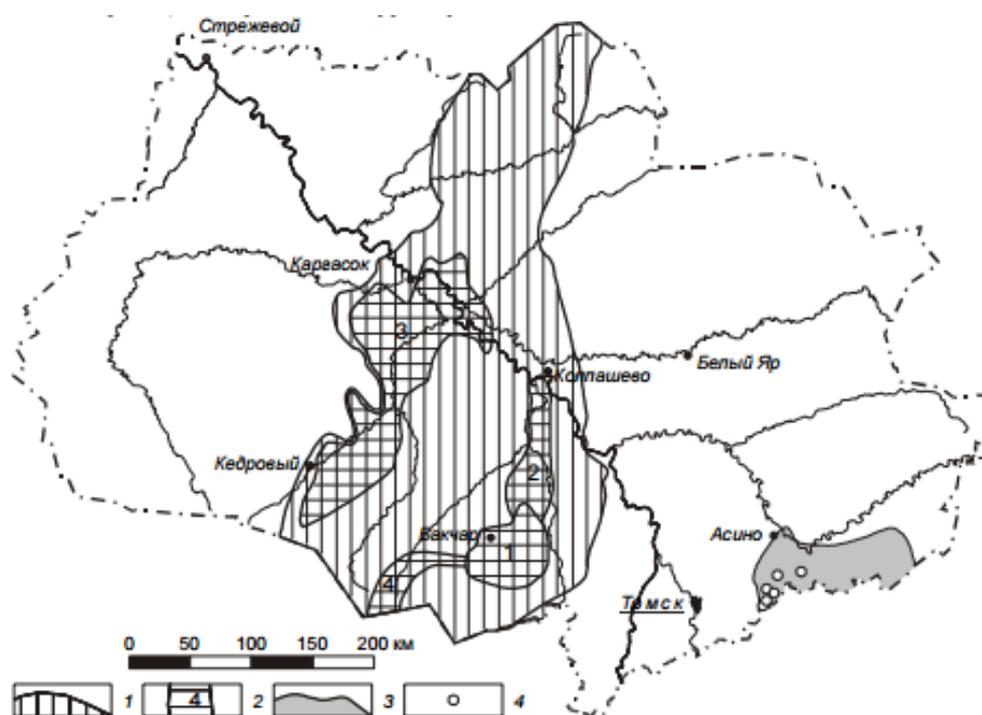


Рисунок 2.11 Схема расположения узлов Западно-Сибирского железорудного пояса Чулымо-Енисейской бокситовой провинции в пределах Томской области (Черняев и др., 2001)

Примечание: 1 - Западно-Сибирский железорудный пояс; 2 - железорудные узлы (1 - Бакчарский, 2 - Колпашевский, 3 - Парабель-Чузыкский, 4 - Парбигский); 3 - Чулымо-Енисейская бокситоносная провинция; 4 - проявления бокситов.

Территория представлена:

- Доюрскими образованиями: *Туринская серия*. Песчаники, алевролиты, базальты миндалекаменные, местами порфиroidные, андезитобазальты, андезиты, линзы туффитов, туфы кислых риолитов; *Кехорегская свита*.

Известняки глинисто-кремнистые; *Инская серия*. Глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, аргиллиты; *Мирная толща*. Известковистые аргиллиты, прослой известняков; Позднепалеозойский гранитоидный комплекс. Граниты, гранодиориты, лейкограниты, грановиры, кварцевые порфиры; *Туринский габбро-долеритовый комплекс*. Штоки, реже дайки габбродолеритов и долеритов; Терригенно-углистая толща. Углисто-глинистые сланцы, песчаники, гравелиты.

- Дочетвертичными образованиями: *Абросимовская свита*. Неравномерное переслаивание плотных алевроитовых глин, слюдистых алевроитов, песков (часто глинистых), приуроченных к нижней части разреза. Характерные многочисленные растительные остатки, линзы лигнита; *Лагернотомская свита*. Пески, алевроиты, алевроглины с обильным растительным детритом; *Новомихайловская свита*. Глины алевроитистые коричневато-серые, алевроиты, пески, прослой лингитов, в обилии растительный детрит, лигнитизированные древесные остатки; *Киреевская свита*. Глины, алевроиты, пески, редкие линзы лигнитов; *Каськовская свита*. Пески с подчиненными прослоями глин и алевроитов.
- Четвертичными образованиями. Глины, суглинки, супеси, пески, погребенные почвы и т.д.

Бакчарское месторождение железистых и оолитовых руд располагается в междуречье рек Андорма и Икса, притоков р.Чая; условия залегания – залежи пластов, представлены 3-мя горизонтами: нарымский (240-390 м), колпашевский (160-250 м), бакчарский (120-210 м), которые в свою очередь перекрыты толщей неоген-четвертичного возраста мощностью 160-200 м. Природа железоносных отложений прибрежно-морская – представлена гравелитами, оолитовыми рудами, песчаниками, алевролитами и глинами (Бабин, 1964). Среднее содержание железа в рудах 40%, минимальные 34,7%, максимальные 53%. Руда представлена двумя типами – лептохлоритовой и оолитовой гидрогетитовой. Присутствуют примеси попутного V с высоким содержанием, концентрации в гидрослюдах вредной примеси – Р до 1,26%, а

в гидрогетитовых оолитах концентрация  $P_2O_5$  не превышает 0,5–0,6%. (таблица 2.3).

Таблица 2.3 Химический состав руд Западно-Сибирского железорудного бассейна (Бакчарское) (Паровинчак, 2001, 2009; Гринев, 2007)

Компоненты, вес. %	Fe	MnO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	S	As
Западно-Сибирский железорудный бассейн (Бакчарское)	40.16-43.09	0.23-0.3	22.18-25.98	5 – 6.14	0.81-0.97	0.67-0.83	0.13	1.17-1.20	0.02-0.05	0.0n-0.00n

Железные руды имеют весьма широкий и разнообразный состав элементов: V, Mn, P, S, Ti, As, Co, Zn, Cr, Sb, встречаются следы Cu, Pb, Ni. В них наблюдаются повышенные концентрации редких и рассеянных элементов – Sc, Mo, Ge, Be, Zr, Y, U, Th и благородных Au. Концентрации Na, Ca, Rb, Cs, Ba понижены, а содержания Sr и Ag не превышают порога чувствительности анализа (Мазуров и др, 2005; Асочакова и др, 2010; Гринев, 2007, 2010; Карепина и др., 2012; Рудмин, 2014; Шайхиев, 2017).

#### 2.4.2 Таштагольское железорудное месторождение

В строении Таштагольского месторождения принимают участие породы метаморфической толщи, альбитофировой формации и прорывающей их интрузии сиенитов. Осадочные породы и эффузивные породы в результате интенсивного динамометаморфоза превращены в разнообразные сланцы.

Основу геологического строения Кондомского района Горной Шории составляет сложный комплекс древних эффузивов, разделяемых большинством исследователей на две толщи. В основании верхней толщи в Таштагольском районе представлены туфоконгломераты с галькой порфириров, фельзитов, песчаников, известняков. Сиенитовая интрузия в пределах Таштагольского месторождения проявляется лишь в виде небольших акмолитообразных тел.

Основу геологического строения рудного поля данного месторождения составляет комплекс метаморфических пород, являющихся так называемой таштагольской метаморфической толщей. Данный комплекс представлен серицито-полевошпатовые, хлоритовые, хлорито-серицитовые сланцы, туфосланцы, туфопесчаники и т. п. Также среди данного комплекса встречаются горизонты известняков, сыгравших главную роль в расшифровке геологического строения и генезиса месторождения, так как рудные тела последнего приурочены к этим горизонтам (Вахрушев, 1959).

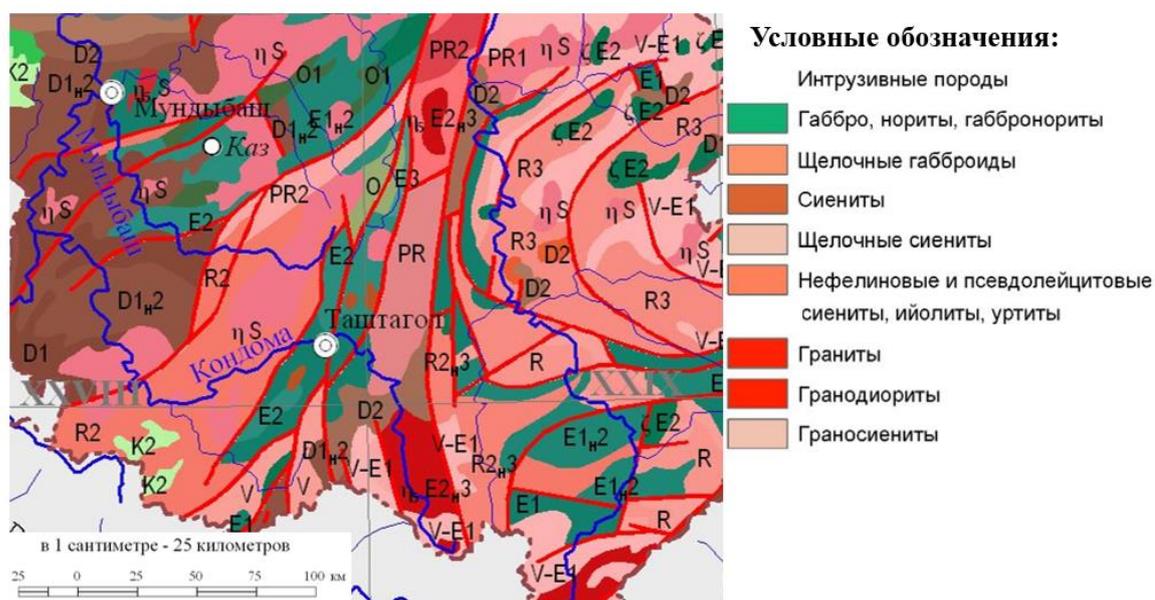


Рисунок 2.12 Фрагмент геологической карты Сибирского федерального округа Кемеровская область (карта составлена по материалам цифровой модели «Геологической карты России и прилегающих акваторий масштаба 1: 25 000 000», СПб, 2004 г.)

Всего на участке Таштагольского месторождения выявлено 4 карбонатных горизонта, представленных мергелистыми породами с порослями и линзами мраморных известняков и мраморов. Распределение рудных месторождений в пределах рудного поля контролируется рядом взаимно пересекающихся трещинных зон нескольких направлений, из которых общими для всего рудного поля являются две почти меридиональные трещинные зоны (Таштагольское железорудное месторождение - Общая геология, 2017 - 2024).

Рудная залежь прослежена по простиранию на поверхности 3 км. По падению она разведана на глубину до 1,7 км без признаков выклинивания. Главные рудные тела имеют пласто- и линзообразную форму и местами расчленяются на сближенные и соединяющимися перемычками линзы.

Размеры рудных тел по простиранию 300–760 м, по падению 500-1000 м и более при средних мощностях 40-70 м. Рудное поле разбито системой трещинных зон субмеридионального, северо-западного и северо-восточного простирания.

Содержание железа от 36,35% до 57,41%, высокое содержание железа (55-62%) имеют открытые на северо-западном фланге слепые рудные тела. Руды Таштагольского месторождения, как правило, малосернистые и чисты по цинку и этим отличаются от руд других месторождений Кондомской группы. Среднее содержание серы в них составляет 0,25%, цинка- 0,05%, фосфора- 0,14%. Основная масса руд пригодна для плавки, без обогащения (Таштагольское железорудное месторождение - Общая геология, 2017-2024).

В статье 1966 года Ивановой Г.М. рассмотрены родственные геохимические особенности габбровой и сиенитовой групп пород на Таштагольском, Шалымском и Шерегешевском рудных полях, для установления условий формирования сиенитовых массивов и связанных с ними процессов рудообразования. Автор выявил, что обе группы сходны по присутствию одних и тех же элементов (Ba, Be, V, Ga, Co, Mn, Cu, Ni, Sc, Sr, Ti, Pb), кроме Zn и Zr, которые выделились только в сиенитах. Так же, в обеих группах автор отметил повышенное содержание таких элементов как Ba, V, Mn, Ti, Sr. Для сиенитов же выявлено повышенное содержание относительно кларкового Co и Ni. (рисунок 2.13) (Иванова, 1966).

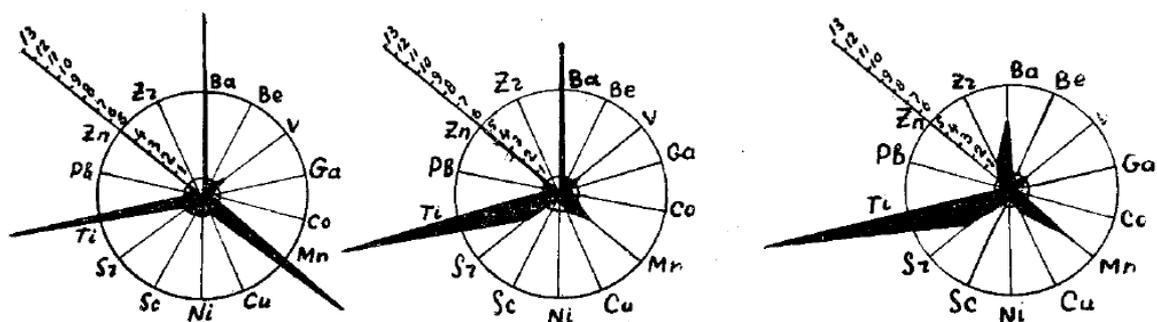


Рисунок 2.13 Диаграмма распределения рассеянных элементов в породах  
Таштагольского массива (Иванова, 1966)

*Примечание: а. в габбро-порфиритах (среднее содержание элементов дается по 10 анализам): 1–0,02%, 2–0,04%, 3–0,06%, 4–0,08% и т. д. для большого круга. Радиус малого круга соответствует содержанию 0,002%; б. в известково-щелочных сиенитах (среднее содержание элементов дается по 110 анализам): 1–0,02 %, 2–0,04%, 3- 0,06%, 4- 0,08%, 5- 0,10% и т.д. Радиус малого круга соответствует содержанию 0,002%; в. в щелочных сиенитах (среднее содержание элементов дается по 50 анализам): 1–0,02 %, 2- 0,04%, 3- 0,06%, 4- 0,08%, 5- 0,10% и т.д. Радиус малого круга соответствует содержанию 0,002%.*

Немаловажную роль в миграции и концентрировании химических элементов в растительности играют техногенные источники. Геоэкологическая обстановка на территории Томской области складывается из комплекса факторов, влияющих непосредственно на окружающую среду, таких как физико-географические условия и деятельность различных промышленных предприятий. Топливная, нефтегазодобывающая, химическая, нефтехимическая и лесная промышленность, машиностроение, сельское хозяйство, ядерно-топливный цикл являются ключевыми отраслями области, а также автотранспорт, количество которого увеличивается из года в год. Все это вносит существенный вклад в техногенное воздействие на природные комплексы и населенные территории области (Рихванов и др, 2006). Существенное влияние на экологию региона в области оказывают районы падения отделяющихся частей ракет-носителей, частично расположенных на территории Каргасокского, Парабельского, Колпашевского и Верхнекетского районов; зона воздействия Сибирского химического комбината и места захоронения радиоактивных отходов; район водозабора в

Обь-Томском междуречье; северный промышленный узел г. Томска; районы интенсивных лесозаготовок и лесных пожаров.

В Кемеровской области с увеличением объема угледобычи растет и эколого-экономический ущерб от нарушения земель, который выражается в деградации почвенно-растительного покрова. На горнодобывающие предприятия в Кемеровской области приходится около 97% от общих отходов региона. В настоящий момент на территории области накоплено более 3,1 млрд. т различных отходов. По этому показателю регион занимает 1-е место среди всех субъектов Российской Федерации. Утилизация промышленных отходов, в том числе и I класса опасности, копившихся десятками лет, является серьезной экологической проблемой Кемеровской области. Их негативное воздействие на окружающую среду в течение многих десятилетий (накопленный экологический ущерб) приводит к потерям до 11% валового регионального продукта (ВРП) только от роста уровня заболеваемости проживающего населения (Мекуш, 2011).

Ежегодное образование отходов производства и потребления в области составляет свыше 50 млн. т.: золошлаковые отвалы топливно-энергетического комплекса (ТЭЦ, ГРЭС), шлаковые отвалы металлургии, отходы химической промышленности, места концентрации отходов агропромышленного комплекса, крупные свалки бытовых отходов (Счастливец и др., 1996).

1) Золоотвалы теплоэлектростанций занимают в общей сложности 2 тыс. га, если они покрыты водой зола не загрязняет атмосферу, но в сухом состоянии с отвалов ветром уносится громадное количество пыли;

2) Отвалы доменных и сталеплавильных шлаков, агломерации железной руды и других отходов металлургии занимают площадь более 800 га (г. Новокузнецк);

3) Отходы добычи железной руды (Таштагол, Шерегеш, Каз, Мундыбаш);

4) Отходы химической промышленности (Кемерово).

Таштагольское железорудное месторождение тесно граничит с Шорским национальным парком, сотрудники которого ведут постоянные наблюдения и исследования за различными компонентами природной среды (снег, почвы, растительность), т.к. в прилегающих к национальному парку районах со второй половины XX в. развивается горнодобывающая промышленность, благодаря значительным залежам полиметаллических и марганцевых руд, а также запасам драгоценных металлов.

Сама территория парка богата наличием запасов полезных ископаемых. Так, в верховьях р. Мрассу имеются запасы природного золота, добыча которого до недавнего времени велась в непосредственной близости от национального парка, что губительно сказывалось на экосистеме самой реки и припойменной части. В границах парка имеются залежи фосфоритов (Белкинское месторождение) и меди (в районе г. Кубез и в бассейне р. Таймет).

Так авторами статьи (Леухин и др., 2021, 2022) были проведены исследования снежного покрова и хвои сосны сибирской кедровой, рассчитан комплексный индекс загрязнения ( $Z_c$ ), который сильно варьировался и имел достаточно высокие значения за счёт превышения ПДК по меди и цинку. Авторы фиксировали высокие значения Си в снеготалой воде и повышенные концентрации Zn и Fe в хвое. Авторы предполагают, что это влияния промышленных предприятий, расположенных на юге Кузбасса. Магнитная восприимчивость почв, по данным исследователей указывает на непосредственное влияние металлургического производства в части накопления загрязняющих веществ в почвах города Таштагола (Леухин, 2021).

Были проведены исследования лишайников методом биоиндикации, с использованием видового состава лишенофлоры в 20 городах Кемеровской области (Баумгертнер, 1999), в ходе исследования было выявлено, что из городов южной части области только город Таштагол имеет низкую антропогенную нагрузку.

## ГЛАВА 3. ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИСТЬЕВ ОСИНЫ

### 3.1. Содержание химических элементов в неотмытых и отмытых листьях осины

Территория на которой отобрана условно фоновая точка (СНТ «Пчелка»), сложена горными породами Новомихайловской и Лагернотомской свитами, представленными аллювиальными отложениями первой надпойменной террасы (глинистые пески, илы, глины до 12 м (серые, бурые)); кирсановская свита, верхняя подсвита, представлена озерными глинами (бурые, коричневато-бурые, зеленовато-серые с мелкокомковатой структурой, местами карбонатные) до 29 м; донеогеновые образования, переслаивание песка и ила, также наблюдаются линзы бурых углей. (рисунок 3.1).

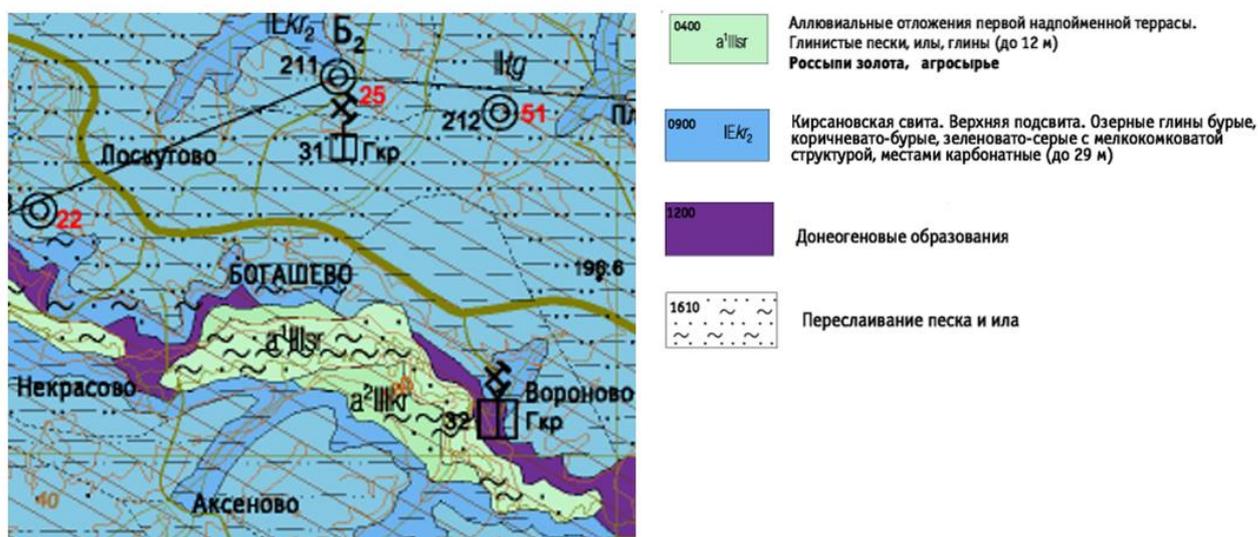


Рисунок 3.1 Фрагмент государственной геологической карты Российской Федерации, масштаба 1:200 000, Кузбасская серия, Неоген-четвертичных образований (О-45-XXXII (Тайга)) (Черникова и др., 2007)

По данным (Черникова и др., 2007) толщи, скрытые под вышележащими отложениями, благоприятны для локализации оруденения. Так же авторами были оконтурены аномалии: гидрогеохимические Au, Ag, Pb, Cu, Zn

(площадные); шлиховые – TR (площадные), TR, Au (точечные); литохимические Au, Cu, Zn (точечные) (рисунок 3.2).

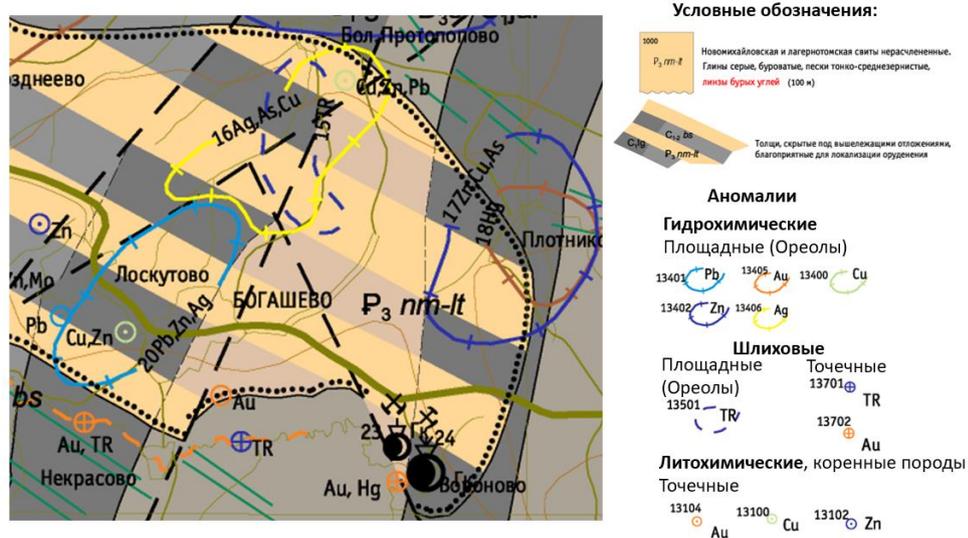


Рисунок 3.2 Фрагмент государственной геологической карты Российской Федерации, масштаба 1:200 000, Кузбасская серия, Карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения (О-45-XXXII (Тайга)) (Черникова и др., 2007)

Также по данным авторов территория исследования входит в Томский потенциально золотоносный район (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 Фрагмент государственной геологической карты Российской Федерации. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист О-45 – Томск. Схема прогноза полезных ископаемых масштаба 1:2 500 000 (ВСЕГЕИ, 2021)



*Примечание: содержания железа, кальция и натрия - в %, остальные - в мг/кг;  $X_{\pm A}$  - среднее арифметическое  $\pm$  ошибка среднего,  $X_{\text{геом}}$  – среднее геометрическое,  $M$  - медиана,  $S$  - стандартное отклонение,  $V$  - коэффициент вариации; н.п.о.- ниже пределе обнаружения.*

Разброс валового содержания Ca, Fe, Co, Zn, Br, Sr, Ba, La имеет коэффициент вариации менее 50%, что соответствуют однородной выборке. Недифференцированная выборка, при коэффициенте вариации от 50% до 70%, наблюдается для содержания Sc, Rb, Ce. Коэффициент вариации в пределах 70–100%, что соответствует сильно неоднородной выборке, отмечен для Na, Ag, Sb, Cs, Eu, Tb, Yb, Hf. Крайне неоднородная выборка (коэффициент вариации более 100%) характерна для Cr, Sm, Lu, Au.

В целом описательный статистический анализ валового содержания химических элементов свидетельствует о том, что распределение содержания элементов на условно фоновом участке неравномерное, выделяются элементы с аномальным содержанием - Zn, Au. Наблюдается ряд химических элементов ниже предела обнаружения, это As, Nd, Ta и U.

Таблица 3.2 Статистические параметры содержания элементов (мг/кг) в золе листьев осины (отмытые) на территории СНТ Пчелка, Томский район, Томская область. (объем выборки -28 проб, 2020 г.) ИНАА

Элемент	$X_{\pm A}$	$M$	$X_{\text{геом}}$	$S$	Экссесс	Асимметрия	Min	Max	$V, \%$
Na, %	0,04 $\pm$ 0,01	0,024	0,02	0,04	2,51	1,78	0,001	0,14	116
Ca, %	14,4 $\pm$ 1,6	11,7	13,4	6,0	-0,93	0,73	6,56	24,02	41
Sc	0,12 $\pm$ 0,01	0,12	0,11	0,04	4,87	1,14	0,03	0,23	37
Cr	3,28 $\pm$ 1,03	0,9	1,57	3,73	0,67	1,26	0,24	11,6	114
Fe, %	0,07 $\pm$ 0,01	0,07	0,06	0,04	1,65	0,76	0,02	0,15	51
Co	4,7 $\pm$ 0,7	4,07	4,27	2,56	3,67	1,75	1,91	11,60	54
Zn	2 187 $\pm$ 154	2104	2128	558	3,20	1,43	1419	3640	26
As	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Br	27,5 $\pm$ 2,8	25,8	25,4	10,20	-0,04	0,02	8,77	45,11	37
Rb	26,18 $\pm$ 3,9	21,12	23,01	14,01	-0,45	0,9	9,0	51,7	54
Sr	708 $\pm$ 49	736	686	176	-0,60	-0,18	403	986	25
Ag	1,38 $\pm$ 0,52	0,64	0,86	1,87	9,35	2,94	0,37	7,26	124
Sb	0,21 $\pm$ 0,05	0,17	0,15	0,17	-0,37	0,92	0,02	0,55	81
Cs	0,11 $\pm$ 0,04	0,06	0,07	0,14	8,31	2,74	0,003	0,54	112

Продолжение таблицы 3.2

Элемент	$X \pm A$	M	$X_{\text{геом}}$	S	Экцесс	Асимметрия	Min	Max	V, %
Ba	305±24	311	293	86	-0,33	-0,30	140	447	28
La	1,83±0,21	1,72	1,69	0,76	4,42	1,37	0,54	3,87	41
Ce	1,70±0,20	1,86	1,42	0,74	0,82	-0,94	0,20	2,76	43
Nd	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Sm	0,51±0,2	0,13	0,18	0,88	4,7	2,31	0,03	2,91	171
Eu	0,05±0,005	0,05	0,047	0,02	0,11	0,12	0,02	0,09	38
Tb	0,08±0,02	0,06	0,05	0,09	-0,26	1,09	0,003	0,26	103
Yb	0,03±0,002	0,03	0,03	0,01	0,60	-0,52	0,01	0,04	29
Lu	0,007±0,002	0,003	0,004	0,01	7,9	2,8	0,001	0,04	141
Ta	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Au	0,26±0,07	0,16	0,19	0,25	1,66	1,66	0,08	0,84	97
Th	0,08±0,02	0,08	0,04	0,06	2,10	1,26	0,0005	0,22	80
U	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.

Примечание: содержания железа, кальция и натрия - в %, остальные - в мг/кг;  $X \pm A$  - среднее арифметическое  $\pm$  ошибка среднего,  $X_{\text{геом}}$  - среднее геометрическое, M - медиана, S - стандартное отклонение, V - коэффициент вариации, н.п.о.- ниже предела обнаружения.

Значительная группа химических элементов (Na, Cr, Ag, Sb, Cs, Sm, Tb, Lu, Au, Th) имеет коэффициент вариации выше 60%, что свидетельствует о многофакторном поступлении элементов, и невозможности использования параметрических критериев статистического анализа данных.

Сравнение содержания химических элементов в сухом веществе в листьях осины со средним содержанием химических элементов в «эталонном растении» (Markert, 1992) выявило: в неотмытых пробах листьев больше нормы содержание таких элементов как Zn (в 3 раза), Au (в 40 раз); в отмытых пробах листьев Zn (в 3 раза), Au (в 20 раз), Th (в 2 раза). Также были выявлены пониженные содержания химических элементов: в неотмытых – Br (в 2 раза), Rb (в 22 раза), Cs (в 10 раз), Ce (в 2 раз), Eu (в 2,5 раза), в отмытых – Br (в 2 раза), Rb (в 21 раз), Cs (в 25 раз), Ce (в 3,5 раза), Eu (в 2 раза) (таблица 3.3, рисунок 3.4).

Таблица 3.3 Содержание химических элементов в сухом веществе листьев осины (неотмытые, отмытые) (по данным ИНАА), мг/кг

	Na, %	Ca, %	Sc	Cr	Fe, %	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs
Содержание х.э. в «эталонном растении» (В. Markert, 1992), ppm	0,015	1	0,02	1,5	0,015	0,2	<b>50</b>	0,1	4	50	50	0,2	0,1	0,2
Неотмытые	0,003	1,4	0,015	0,21	0,005	0,34	<b>167</b>	н.п.о.	2,1	2,3	55	0,14	0,02	0,02
Отмытые	0,003	1,2	0,009	0,27	0,005	0,4	<b>176</b>	н.п.о.	2,2	2	57	0,1	0,02	0,008
	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	<b>Au</b>	<b>Th</b>	U
Содержание х.э. в «эталонном» (В. Markert, 1992), ppm	40	0,2	0,5	0,2	0,04	0,008	0,008	0,02	0,003	0,05	0,001	<b>0,001</b>	<b>0,005</b>	0,01
Неотмытые	22	0,14	0,25	н.п.о.	0,02	0,003	0,007	0,004	0,001	0,005	н.п.о.	<b>0,04</b>	<b>0,006</b>	н.п.о.
Отмытые	25	0,15	0,14	н.п.о.	0,04	0,004	0,007	0,002	0,0005	н.п.о.	н.п.о.	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	н.п.о.

Примечание: н.п.о. - ниже предела обнаружения; жирным шрифтом выделены химические элементы с содержанием выше норматива, курсивом – ниже.

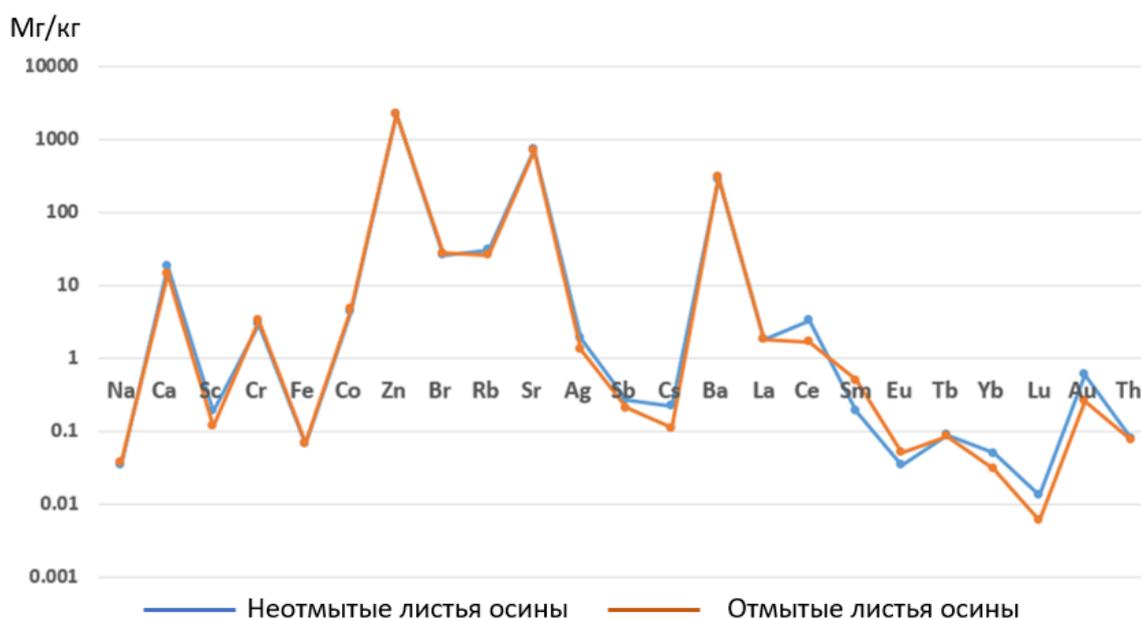


Рисунок 3.4 Сравнение средних значений по выборке микроэлементов в золе листьев осины (СНТ «Пчелка», Томский район, Томская область)

Примечание: содержания железа, кальция и натрия - в %.

Анализ корреляционных связей выявил наиболее устойчивые ассоциации. В неотмытых листьях химические элементы разделились на 3 группы отделенных друг от друга обратной связью: 1) Ag, Au, Rb; 2) Ba, Zn; 3) PЗЭ, Ca, Na, Sb, Cr, Co. Самые сильные связи в первой и второй группах (рисунок 3.5).

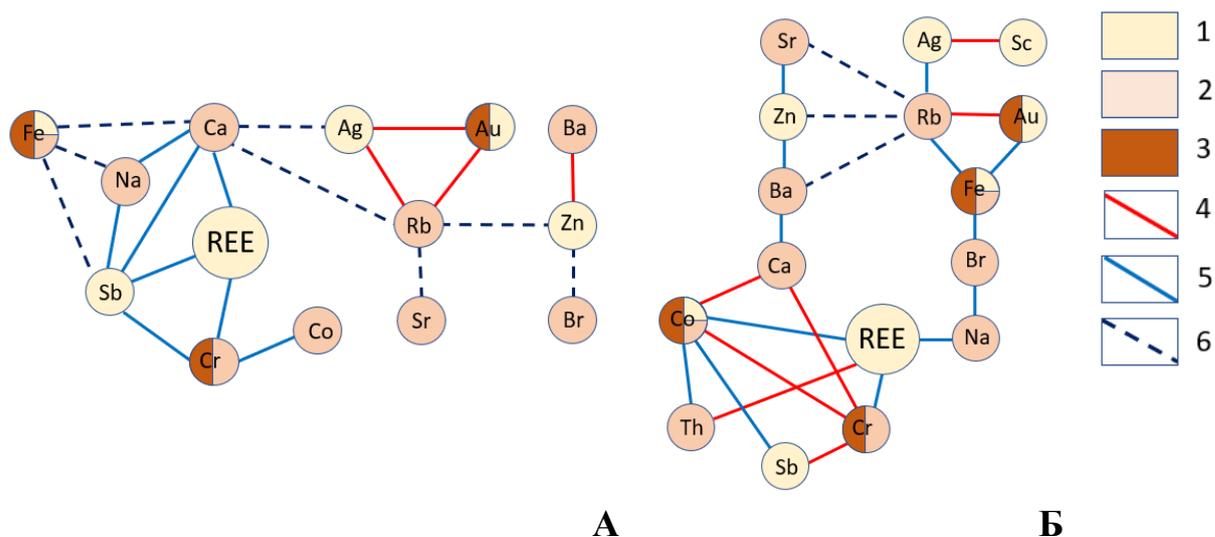
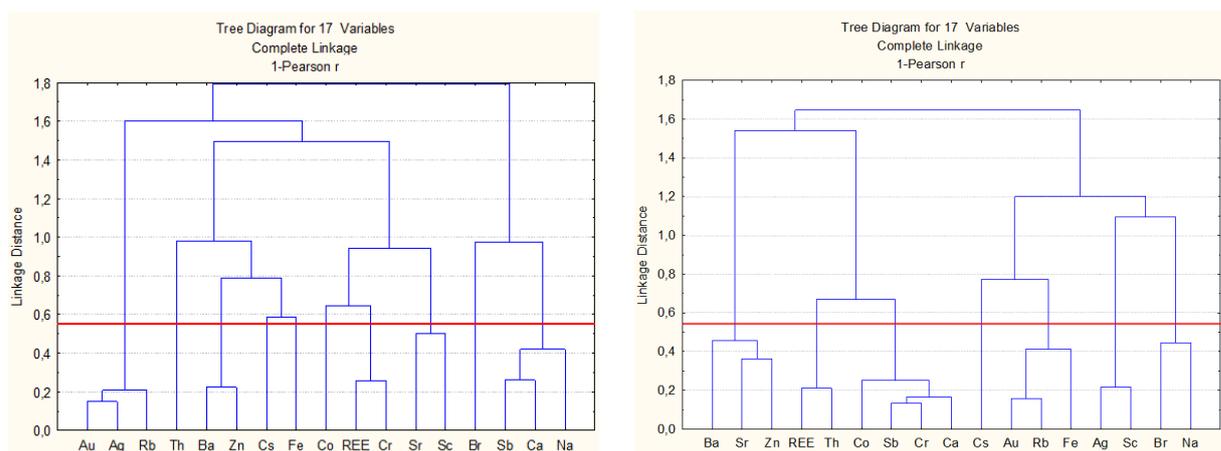


Рисунок 3.5 Графы корреляционных ассоциаций элементов ( $R_{\text{крит.}}=0,55$ ,  $p=0,05$ ) в листьях

Примечание: немых (А) и отмытых (Б): 1 – 2) характер корреляционной связи: прямой (4,5), обратный (6); 1-3) геохимическая классификация элементов (Геохимическая таблица, 1973): халькофильные (1), литофильные (2), сидерофильные (3).

Анализ дендрограмм корреляционных матриц геохимического спектра золы листьев осины неотмытых (рисунок 3.6 а) и отмытых (рисунок 3.6 б) показывает, что в обоих случаях выделяется общая ассоциация элементов Au-Rb. Следует отметить, что в неотмытых эту ассоциацию (Au-Rb) дополняет Ag, а в отмытых Fe. Как правило золото в сочетании с мышьяком создает положительные корреляции, которые характеризуют золоторудные объекты, в нашем случае не представилось возможным это выяснить, так как мышьяк имел значения меньше предела обнаружения. Но по литературным данным Fe и Rb являются элементами-спутниками золота, представляя собой – материнскую породу и возможного эолового привноса (Барановская, 2011).



А

Б

Рисунок 3.6 Дендрограмма корреляционной матрицы ассоциации микроэлементов в золе листьев осины: А) неотмытые; Б) отмытые ( $n=13$ ,  $r=0,55$ )

На рисунке представлены кривые распределения химических элементов в почве, отобранной в начале эксперимента и на заключительном этапе. Из графиков видно, что существенных различий в содержании микроэлементов не наблюдается (рисунок 3.7).

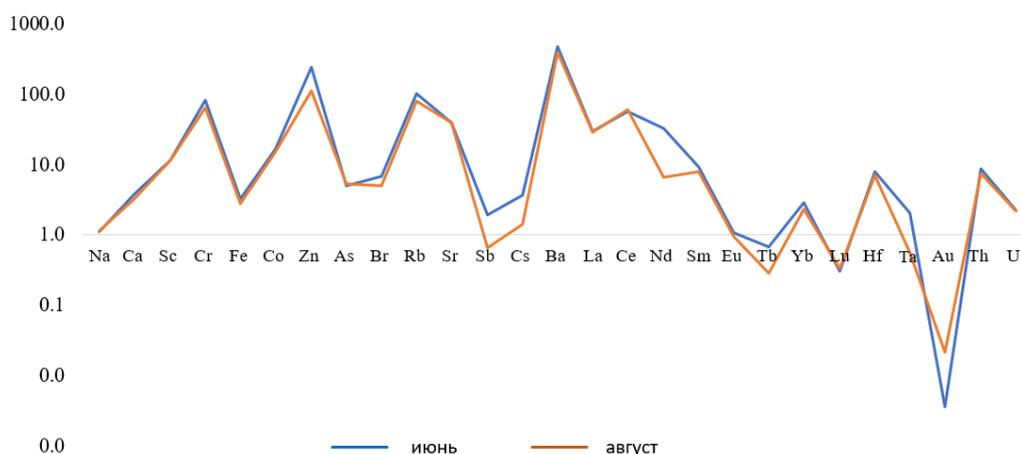


Рисунок 3.7 Сравнение значений химических элементов в почве (СНТ Пчелка, Томский район ТО), (ИНАА)

Проанализировав ассоциацию выделившихся элементов в листьях осины (Au-Rb) и этих же элементов в почве, видим, что содержания Au (0,04 мг/т) в неотмытых листьях, в 10 раз превышающие содержания Au (0,004 мг/т) в почве. Обратная ситуация с рубидием, в неотмытых листьях содержание Rb (неотмытые-2,3 мг/т; отмытые – 2 мг/т) в 40–45 раз меньше, чем Rb (июнь-104

мг/т; август – 79 мг/т) в пробах почвы (рисунок 3.7). Вероятно, осина отличается безбарьерным характером накопления золота, о чем свидетельствует прямо пропорциональная зависимость между содержаниями золота в системе почва-растение, и это ярко показывает геохимический ряд элементов, ранжированный по Кк рассчитанному относительно содержания химических элементов в «эталонном растении» (Markert, 1992) в порядке убывания их значений, где на первое место выходит Au, а Rb находится в конце ряда. Значимыми Кк принимались значения более 1 (таблица 3.4, рисунок 3.8).

Таблица 3.4 Ранжированные ряды химических элементов по коэффициенту концентрации в сухом веществе листьев осины относительно к «эталонному растению» (Markert, 1992)

Листья осины (сухое вещество)	Геохимический ряд
Неотмытые	<b>Au</b> <sub>42</sub> - <b>Zn</b> <sub>3,3</sub> - <b>Co</b> <sub>1,7</sub> - <b>Ca</b> <sub>1,4</sub> - <b>Th</b> <sub>1,2</sub> - <b>Sr</b> <sub>1,1</sub> -Tb <sub>0,8</sub> -Sc <sub>0,7</sub> =Ag=La-Br <sub>0,5</sub> =Ba=Ce-Sm <sub>0,4</sub> -Fe <sub>0,3</sub> =Eu=Lu-Na <sub>0,2</sub> =Sb=Yb-Cr <sub>0,1</sub> =Cs=Hf-Rb <sub>0,005</sub>
Отмытые	<b>Au</b> <sub>20</sub> - <b>Zn</b> <sub>3,5</sub> - <b>Co</b> <sub>2</sub> - <b>Ca</b> = <b>Th</b> <sub>1,2</sub> - <b>Sr</b> <sub>1,1</sub> -Sm <sub>0,9</sub> =Tb-La <sub>0,7</sub> -Ba <sub>0,6</sub> -Br <sub>0,5</sub> =Sc=Ag=Eu-Fe <sub>0,4</sub> -Ce <sub>0,3</sub> -Na <sub>0,2</sub> =Cr=Sb=Lu-Yb <sub>0,1</sub> -Cs <sub>0,04</sub> =Rb

По данным (Черникова и др., 2007) территория исследования попадает в томский потенциальный золотоносный район, проявление которого скорее всего и отражают листья осины, как неотмытые, так и отмытые.

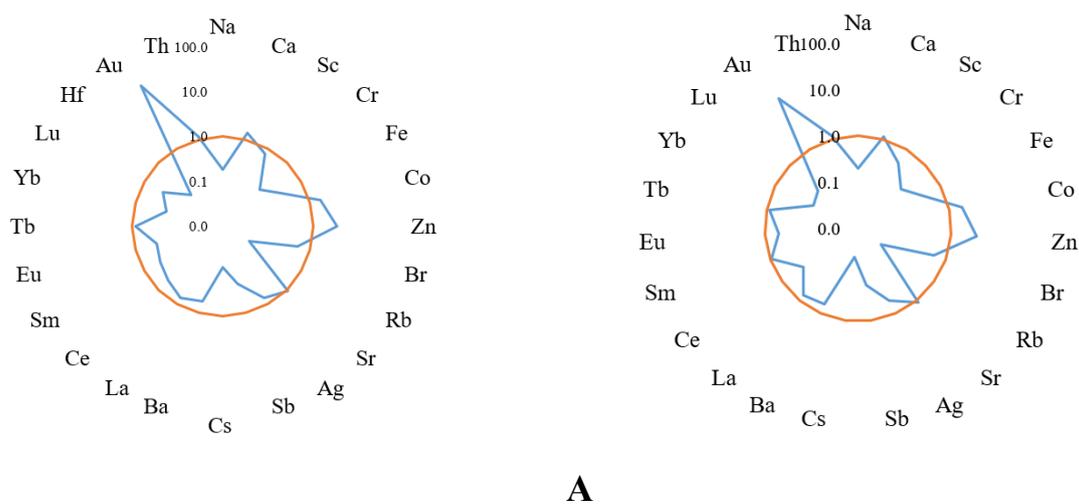


Рисунок 3.8 Коэффициенты концентрации элементов в листьях осины относительно «эталонного растения» (Markert, 1992)

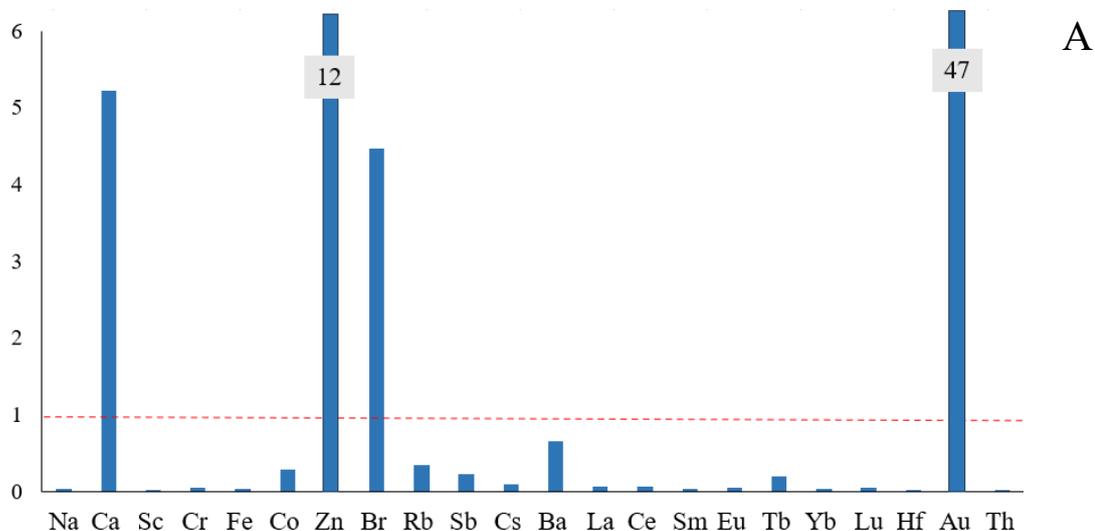
Примечание: А- неотмытые, Б- отмытые.

Для установления закономерности аккумуляции химических элементов листьями осины, рассчитали коэффициент биологического поглощения, или накопления  $A_x$  (КПБ) (таблица 3.5) (Перельман, 1975, 1989).

Таблица 3.5 Значения коэффициента биологического поглощения химических элементов для листьев осины

Пробы листьев осины (n=13)	Ряд химических элементов
неотмытые	<b>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)</b>
отмытые	<b>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)</b>

В данном ряду выделяется группа элементов накопления Au, Zn, Ca, Br, остальные элементы имеют значение КПБ ниже 1, это свидетельствует об отсутствии интенсивного накопления химических элементов из почвенных растворов (рисунок 3.9).



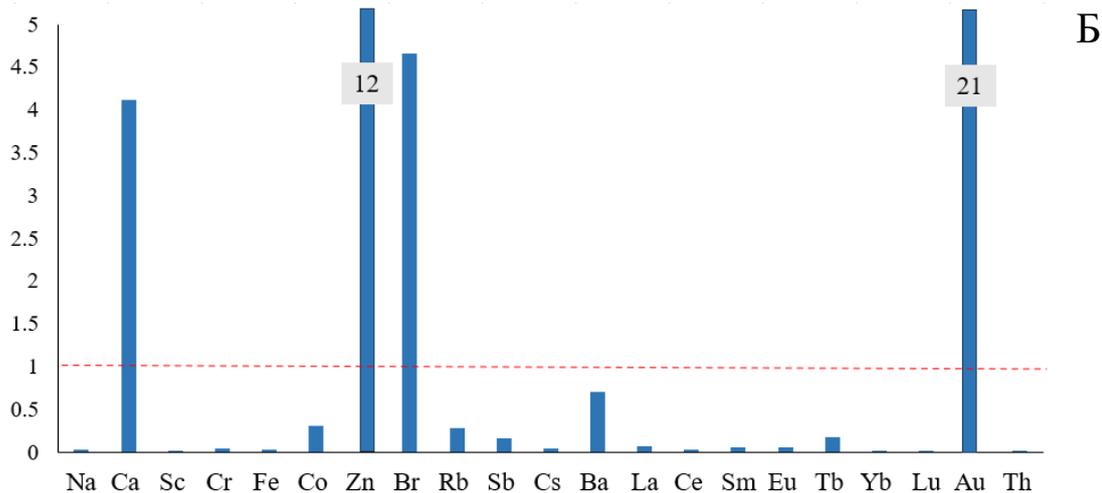


Рисунок 3.9 Коэффициенты биологического поглощения

Примечание: А- неотмытые, Б- отмытые.

Таким образом анализ показал, что фактические содержания практически не изменяются при отмывании листьев. Наличие расхождений можно зафиксировать, применяя наиболее глубокие методы, например, такие как корреляционный анализ. Закономерность поглощения листьями элементов из почвенных растворов также сохраняется.

### 3.2 Изменение содержания химических элементов в листьях осины в течение вегетационного периода

Отбор проб листьев осины проводился в течение вегетационного периода, по данным (Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов, 2011) продолжительность вегетационного периода в Томской области с 15 мая по 15 октября.

Влияние временного фактора на поступление химических элементов в листья осины хорошо демонстрируют такие элементы как - ртуть и сурьма. Концентрация ртути к концу вегетационного периода увеличилась в 4 раза, сурьмы в 7 раз. (рисунок 3.10).

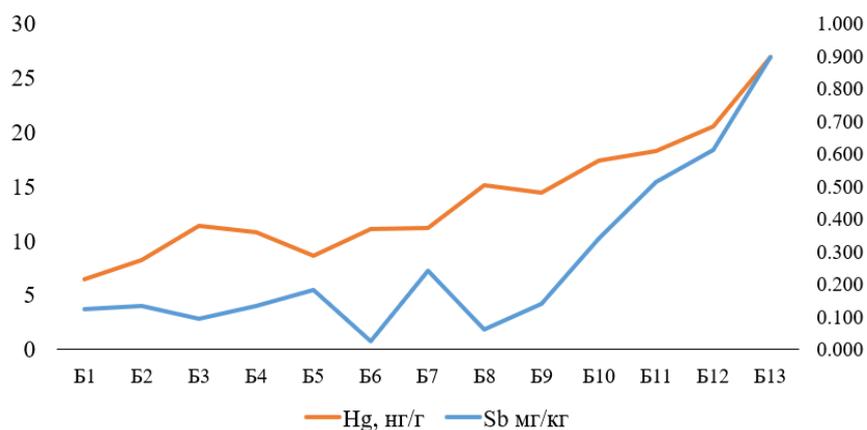


Рисунок 3.10 Содержание Hg и Sb в листьях осины в течение вегетационного периода

Примечание: (B1-B13)- недели.

Статистические параметры содержания ртути в 13 пробах сухого вещества листьев осины представлены в таблице (таблица 3.6).

Таблица 3.6 Статистические параметры распределения ртути в листьях осины (сухое вещество), нг/г

Пробы листьев осины (n=13)	Среднее $\pm$ стандартная ошибка	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
неотмытые	14 $\pm$ 1,6	11,4	6,5	27	5,7	40
отмытые	12,8 $\pm$ 1,4	11,9	7	20	5	39

По значению коэффициента вариации ртути (40% и 39%) в листьях осины определяется однородная выборка. Среднее содержание ртути в пробах листьев осины- неотмытых составляет 14 нг/г, а отмытых – 12,8 нг/г, что практически совпадает с медианой и свидетельствует об отсутствии явных аномальных концентраций и значительном разбросе значений (таблица 3.7, рисунок 3.11).

Таблица 3.7 Показатели средней концентрации ртути в листья осины по выборке, С, нг/г

месяц	июнь				июль					август			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Неотмытые	7	8	11	11	9	11	11	15	14	17	18	21	27
Отмытые	8	8	7	8	12	9	11	16	14	18	19	19	20

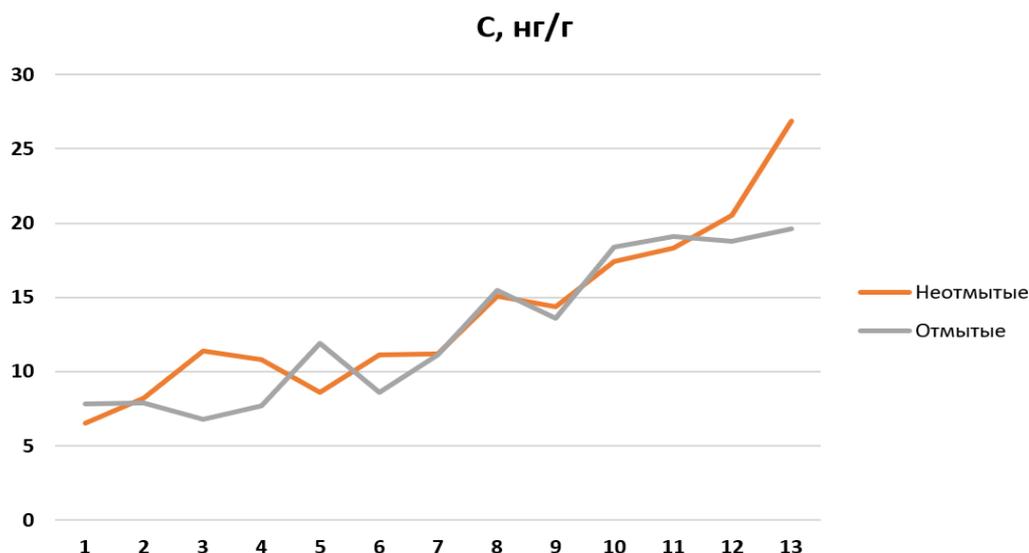


Рисунок 3.11 Содержание ртути в листьях осины

Таблица 3.8 Геоэкологические показатели ртутной нагрузки на территорию исследований

Пробы листьев осины (n=13)	Показатель				
	С, нг/г	СКО, нг/г	$K_m$	$K_k$	$K_{blt}$
неотмытые	14/6,5-27*	0,7/0,1-2,4	1/0,5-1,9	1,2/0,5-2,2	0,8/0,4-1,6
отмытые	12,8/7-20	0,8/0,1-1,6	1/0,5-1,5	1,1/0,6-1,6	0,8/0,4-1,2

Примечание: \* - среднее/max-min; С, нг/г - концентрация Hg; СКО, нг/г – среднее квадратичное отклонение;  $K_m$  – коэффициент концентрации относительно среднего по выборке (14 нг/г, 12,8 нг/г);  $K_k$  – Кларк концентрации относительно Кларка Hg в наземных растениях (12 нг/г) (Markert, 1993);  $K_{blt}$  – коэффициент концентрации относительно фона в листьях деревьев (17 нг/г) (Янин, 1992).

Расчитанные показатели говорят об обогащении листьев осины элементом относительно кларка в наземных растениях, но средние содержания по выборкам меньше фоновых концентраций в листьях деревьев. Из таблицы 3.8 видно, что содержания Hg в листьях осины превышают этот показатель (17 нг/г) к концу вегетативного периода, а также по нашим данным листья осины лучше накапливают Hg за один вегетационный период по сравнению с хвоей (Ляпина и др, 2022). Что не противоречит некоторым исследователям, которые утверждают, что лиственной опад является важнейшим источником поступления ртути в почву (Воскресенский, 2011; Боев и др., 2018; Yusupov et al., 2022).

*Проведенные исследования позволяют сделать вывод о наличии устойчивой тенденции к накоплению сурьмы и ртути с вегетационным периодом.*

### **3.3 Пространственное распределение химических элементов в листьях осины**

Увеличение концентрации химических элементов в листьях древовидных растений происходит в течение всего вегетационного периода. Поэтому концентрации в листьях могут различаться между старыми и молодыми. Для измерения пространственной концентрации элементов в листовой пластине применяются различные методы: синхротронную рентгеновскую дифракцию (Pongrac et al, 2020), нейтронную радиографию (Rees et al, 2011), метод f-радиографии (Берзина, 1991; Ялалтдинова, 2015), десорбционную электрораспылительную ионизацию (DESI) (Safa et al, 2021), рентгенофлуоресцентную микроскопию (PCM) на основе синхротрона (Liu et al, 2020; Abubakari et al, 2021), флуоресцентное сканирование (XRF) (Van Der Ent et al, 2018). Так, авторы (Rees et al, 2011) использовали нейтронную радиографию для определения площадного распределения накопленного бора в листьях тополя черного. И выявили, что внутри отдельных листьев самые высокие концентрации бора наблюдались на краях и кончиках листьев (рисунок 3.12). Однако некоторые из методов требуют много времени, либо дают неполную картину распределения элементов. Таким образом целью данного исследования было показать пространственное распределение методом разделения листовой пластины на отдельные равные части.

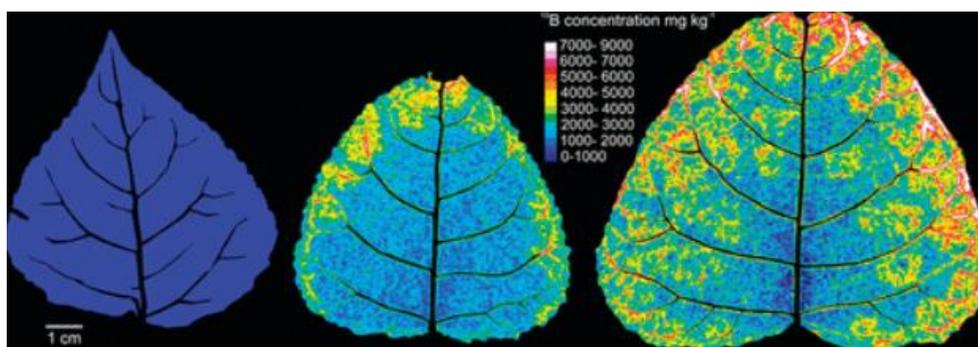


Рисунок 3.12 Концентрация Бора в хлоротических тканях листа (1000–2000 мг/кг) и в некротизированных (>2000 мг/кг) методом нейтронной рентгенографии (Rees et al, 2011)

В другой работе были исследованы листья *Glochidion cf. sericeum* (*Phyllanthaceae*) серицеума методом флуоресцентного сканирования (XRF) для выявления пространственного распределения химических элементов (Co, Ni, Mn) не только на поверхности листовой пластинки, но и внутри листа по разрезу (рисунок 3.13) (Van Der Ent et al, 2018).

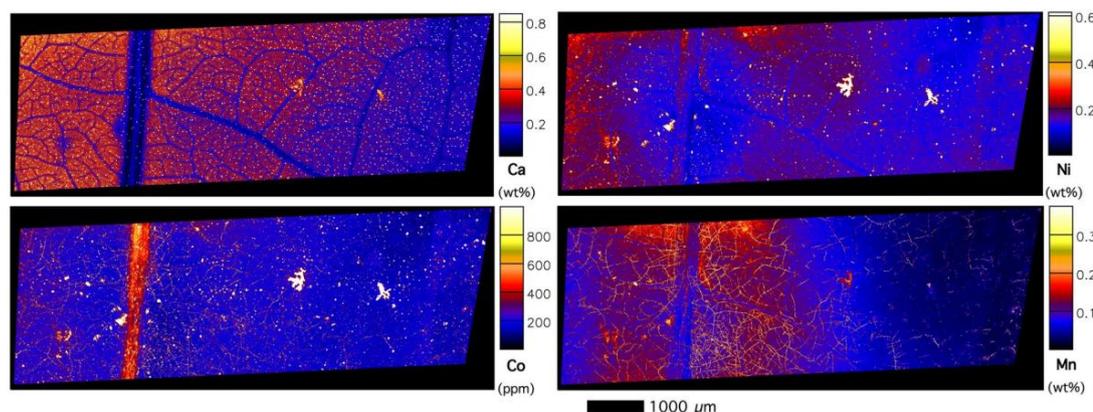


Рисунок 3.13 Микрорентгенофлуоресцентное ( $\mu$ XRF) изображение *Glochidion cf. sericeum* (*Phyllanthaceae*) лист серицеума с картами элементов для Ca, Mn, Co и Ni. (Van Der Ent et al, 2018)

Почти во всех работах было отмечено, что повышенные содержания химических элементов были выявлены в местах очаговых повреждений на листьях.

В исследовании участвовали листья осины, отобранные в 3-х точках в н.п. Чажемто, н.п. Старкороткино, н.п. Староабрамкино (Томская область).

Выбранные для исследования населенные пункты входят в зону загрязнения элементами второго класса опасности (Mo, Cu, Cr, Ni, Co) (рисунок 3.14).

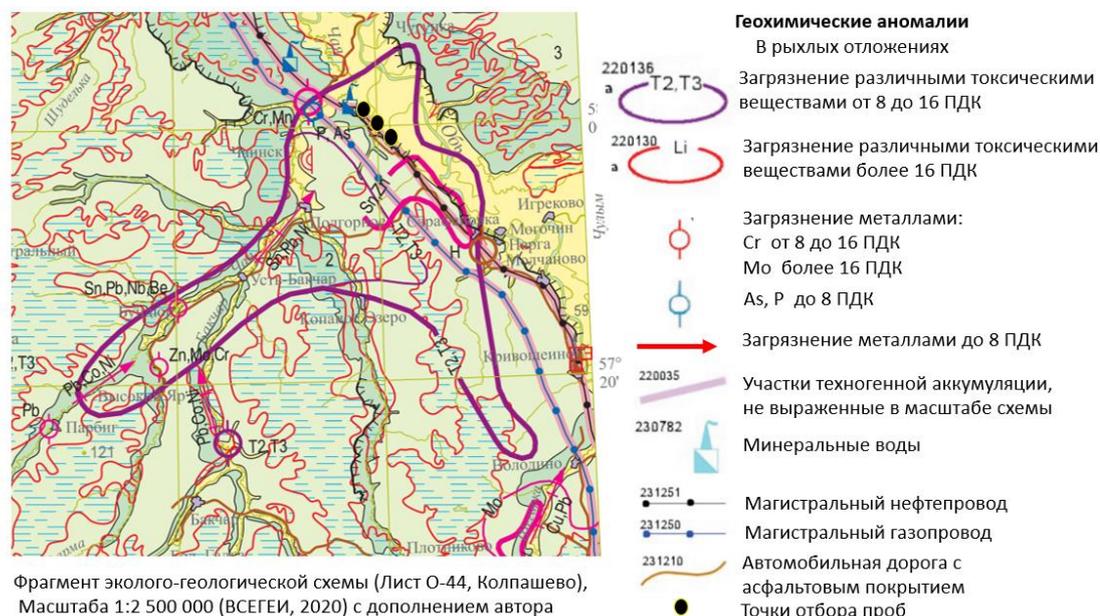


Рисунок 3.14 Фрагмент эколого-геологической схемы Масштаба 1: 2 500 000. (Государственная геологическая карта Российской Федерации.О-44 (Колпашево))

Примечание: T2 – второй класс опасности Mo, Cu, Cr, Ni, Co, нитраты, аммиак, фенол, формальдегид, нефтепродукты; T3- третий класс опасности Mn, V, Ba, W, Sr.

С каждой пробы было выбрано 12 листьев одного размера, по данным литературных источников, это средний размер для данного вида растительности (рисунок 3.15) (Смилга, 1986).

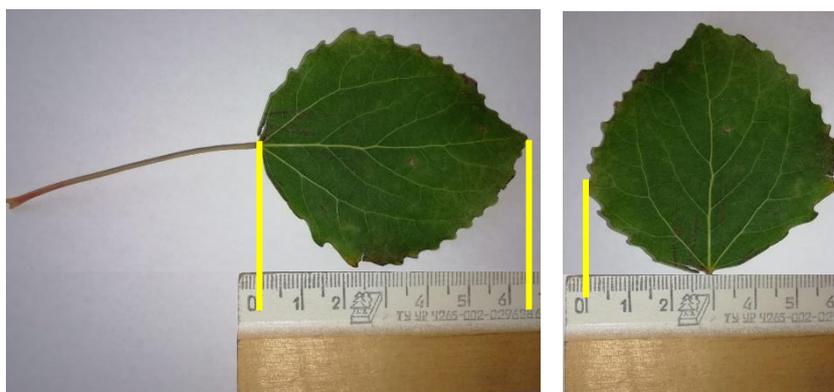


Рисунок 3.15 Размерность листьев осины, использованных в эксперименте

Площадь одного листа в пробах, отобранных для исследования, рассчитана по формуле (Смилга, 1986) и составила в среднем по всем листьям 31,5 см<sup>2</sup>. Каждый лист был разделен на 5 частей (рисунок 3.16), площадь

каждой части составила 2 см<sup>2</sup>, с каждой точки у нас получилось 5 объединённых проб из 12 листьев.

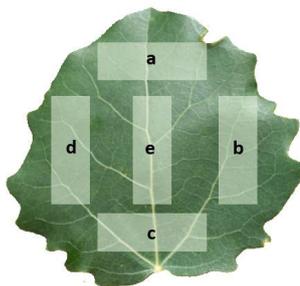


Рисунок 3.16 Схема расположения участков исследования на площади листа

По литературным данным исследования по морфометрии и по определению закономерностей роста листа осины были проведены в Эстонии с 1977 по 1980 гг. (Тамм и др., 1977, 1980). Было установлено, что максимальное нарастание размеров листа происходит на 10-12-й день, после этого оно постепенно уменьшается и прекращается приблизительно на 30-й день после распускания почек. Содержание массы сухого вещества, начиная со дня появления листьев, постепенно возрастает, составляя у вполне сформировавшихся листьев 40–45%. Для вычисления площади листа предложена формула:

$$y = 0,72x_3 + 0,140 \quad [7]$$

где  $y$  — площадь листа осины, см<sup>2</sup>;

$x_3$  — сотая часть произведения длины (мм) и ширины (мм) пластинки листа.

Отобранные части листьев озолялись до серой золы при 450°C по стандартной методике (ГОСТ 26929-94). Зольность составила от 6 до 13%. После озоления проб был проведен инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА).

Полученные данные вынесли на графики, которые показывают, что нет заметной разницы концентрирования элементов в разделенных частях листовой пластины. Основная группа элементов накапливается одинаково, выделяется группа РЗЭ, Cr, Fe и Sb (рисунок 3.17).

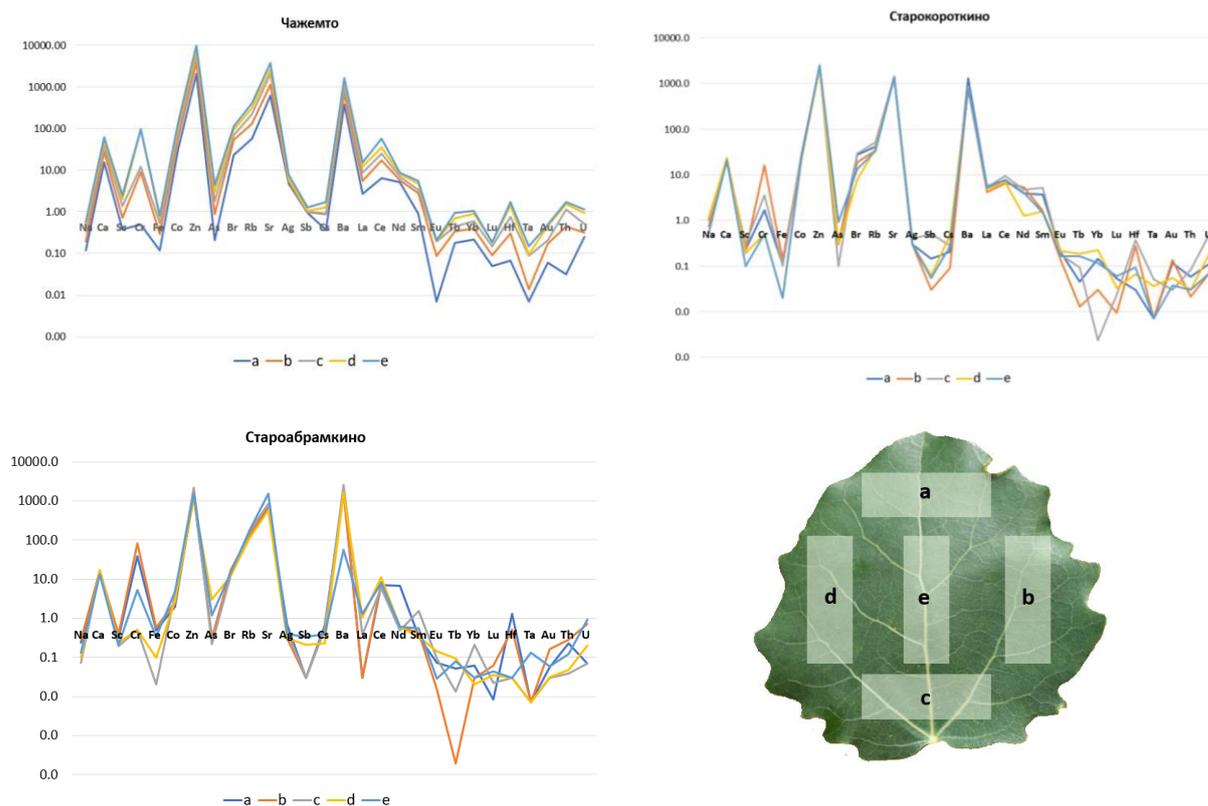


Рисунок 3.17 Содержание химических элементов в разных частях листовой пластины осины

Распределение химических элементов с повышенным содержанием относительно «эталонного растения» по Markert (1992) в листьях осины по трем точкам отбора показал неравномерное распределения этих элементов, выделяется только ассоциация элементов Zn, Au. В двух точках (н.п. Чажемто и н.п. Старокороткино) имеются все три элемента во всех 5 отобранных частях, в то же время в н.п. Староабрамкино сохраняется ассоциация только из двух повторяющихся элементов Zn, Au. По литературным данным избыточное содержание Zn и Co снижает поглощение и передвижения Fe в растительности (Алексеева-Попова, 1991; Новикова и др., 2004), что соотносится с нашими результатами исследования и отражено схематически (рисунок 3.18). Другие элементы в листьях распределены неравномерно.

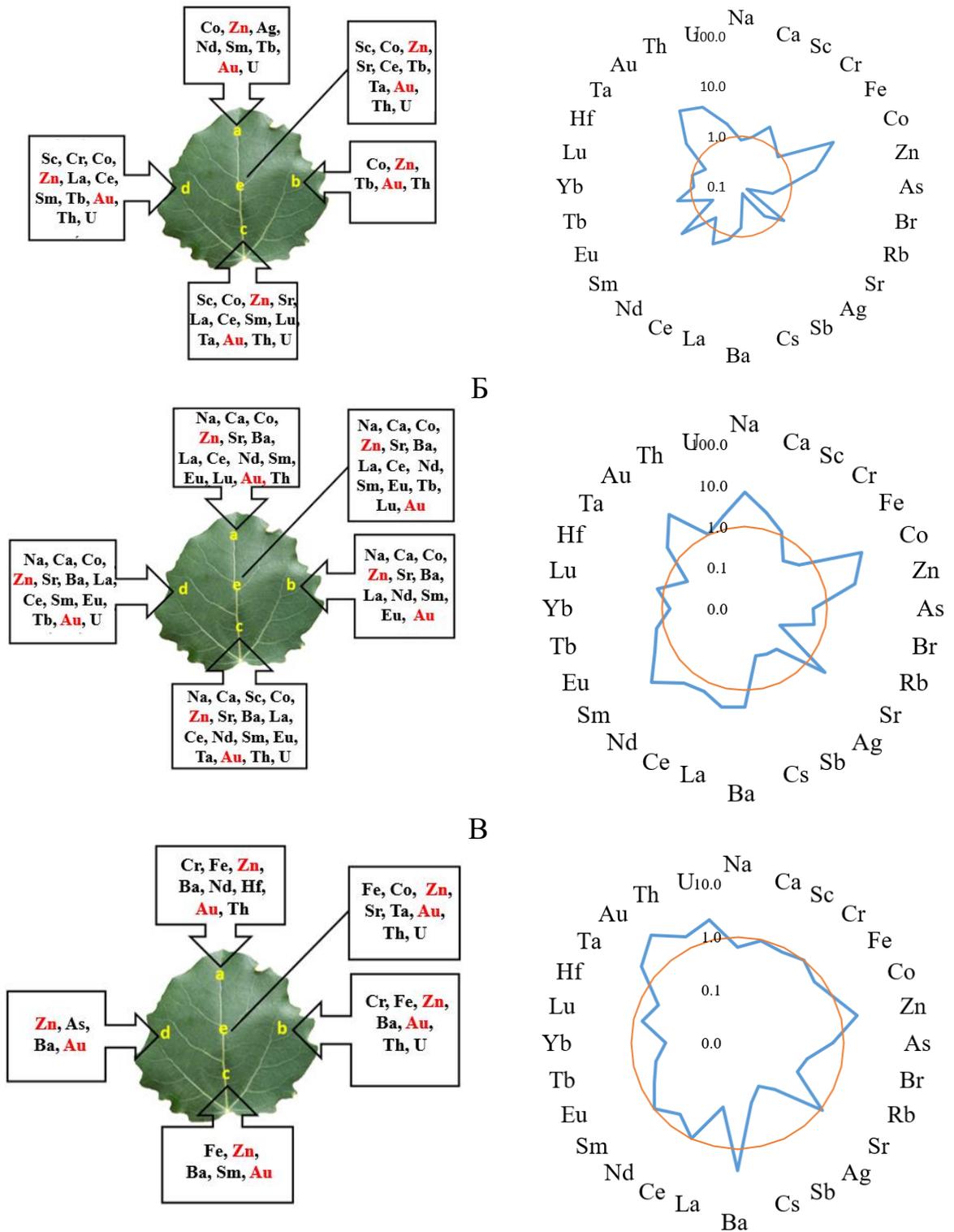


Рисунок 3.18 Содержание элементов в сухом веществе листьев осины превышающие значения содержания элементов в сухом веществе «эталонного растения» (Markert, 1992), (мг/кг; Fe, Ca, Na -%)  
 Примечание: красным шрифтом выделены элементы встречающиеся во всех изученных частях листа; А- н.п. Чажемто; Б- н.п. Старокороткино; В-н.п. Староабрамкино.

Для визуализации пространственной аккумуляции химических элементов в листьях осины были построены карты распределения элементов в листовой

пластинке. Карты демонстрируют идентичное распределение основного спектра элементов и неравномерно распределение элементов поступления, которых в большей степени обусловлено с атмосферным поступлением. Специфичные для осины Zn и Au, распределяются равномерно и встречаются во всех частях листа, в то время как элементы, такие как Fe, РЗЭ и некоторые другие имеют не равномерный характер поступления и сосредотачиваются в определённых частях листовой пластики (рисунок 3.19, 3.20).

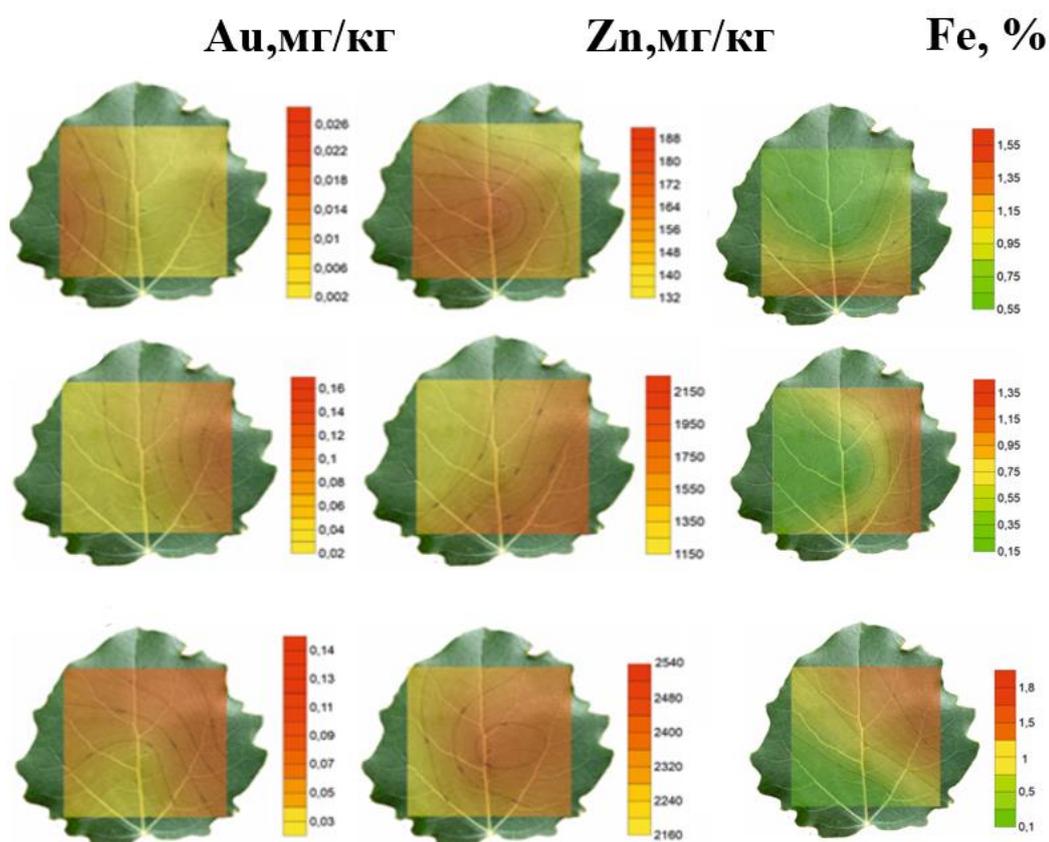


Рисунок 3.19 Карты распределения Au, Zn и Fe в листовой пластике осины по данным ИНАА

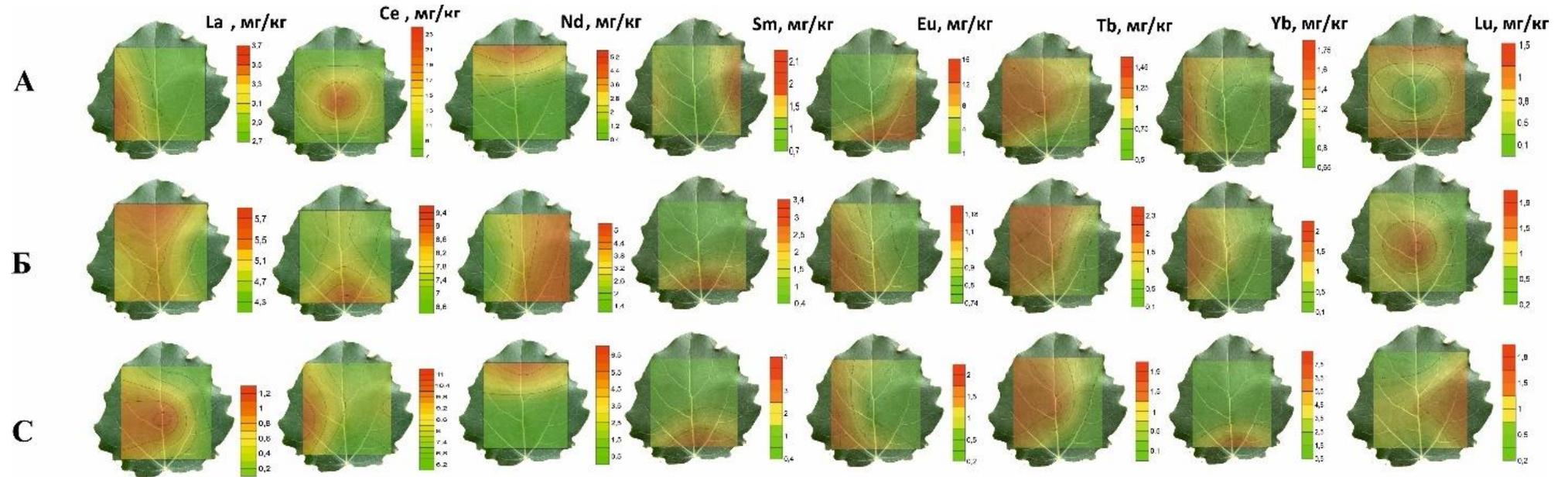
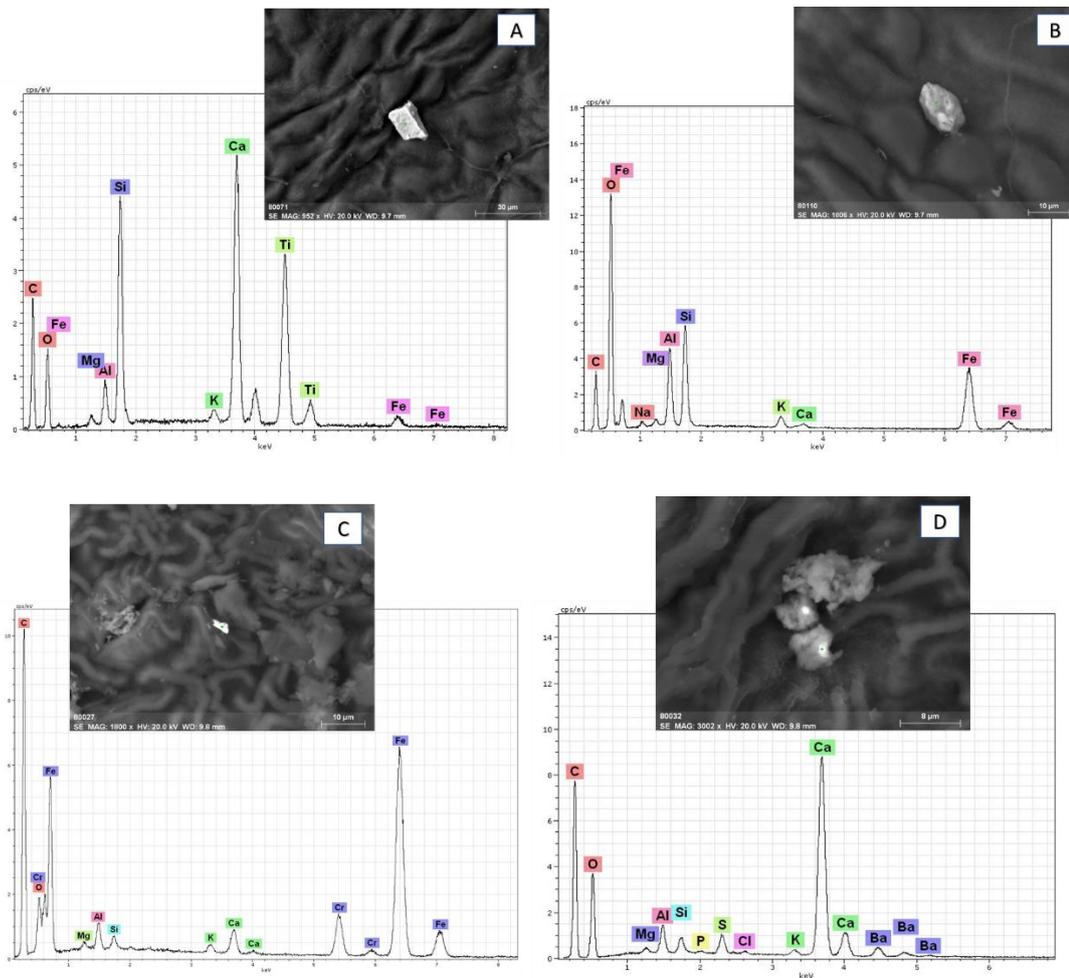


Рисунок 3.20 Карты распределения РЗЭ в листовой пластике осины по данным ИНАА

Примечание: А-н.п. Чажемто, Б-н.п. Старокорткино, С- н.п. Староабрамкино.

Листья осины были проанализированы с помощью сканирующей электронной микроскопии микрочастицы на поверхности листьев, в которых были обнаружены содержания титана, железа, хрома, бария, и циркона. Также методом электронной микроскопии можно провести элементное картирование частицы на поверхности листовой пластины. Картирование новообразованного кальцита на поверхности листа осины из н.п. Чажемто, показывает распределение Ca, Si, Cl, Mg, P, S. Таким образом, можно сделать вывод о вероятно комплексном поступлении химических элементов в листья осины, с последующим проникновением внутрь, через устьица или же закреплением на поверхности из атмосферного воздуха (рисунок 3.21, 3.22, 3.23).



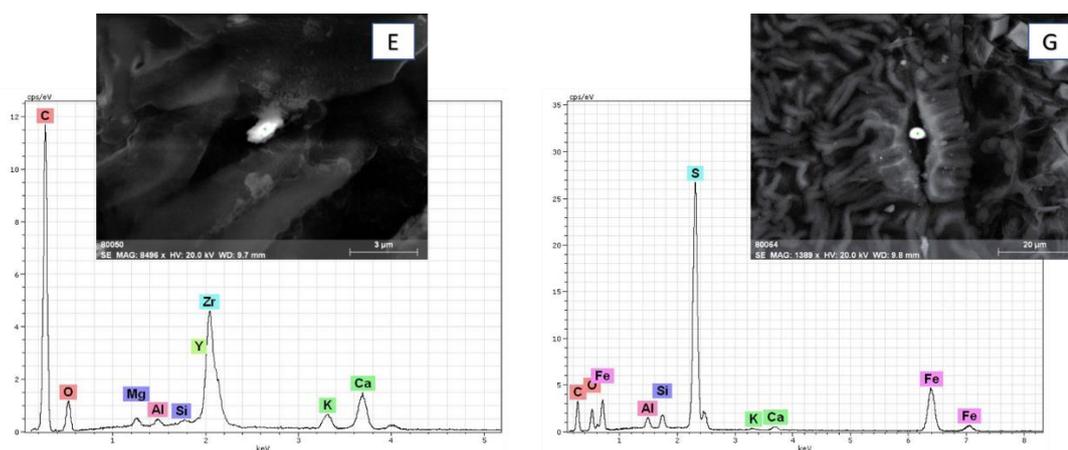


Рисунок 3.21 Минеральные фазы на поверхности листа осины (н.п. Чажемто)  
 Примечание: А - титанит (сфен), В - алюмосиликат железа, С - техногенная (ржавая сталь), D - кальцит с баритом (внешняя сторона листа); E - оксид циркония (бадделейт), G - (пирит)- внутренняя сторона листа.

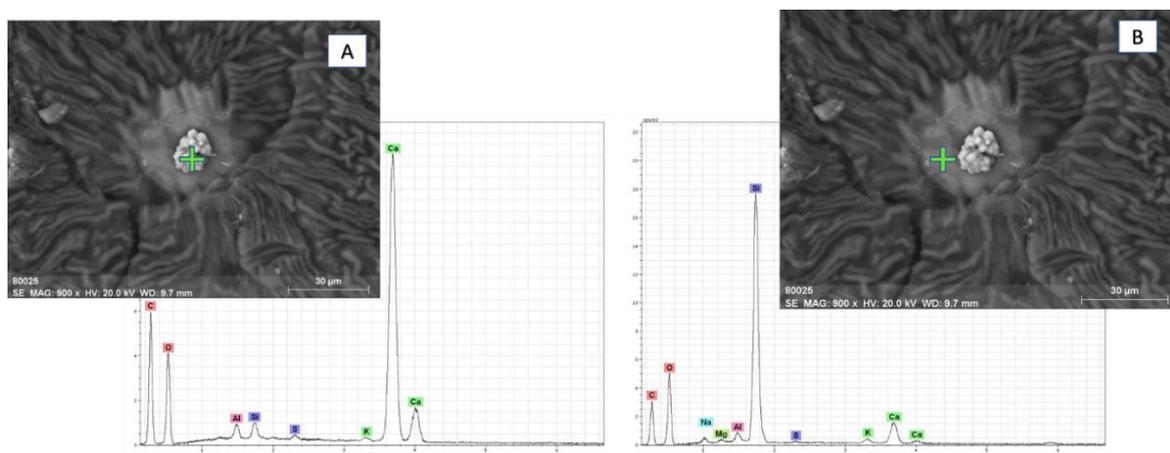


Рисунок 3.22 Минеральная фаза в устьицах листьев осины (н.п. Чажемто, внутренняя сторона листа)

Примечание: А- кальцит, В – кварц.

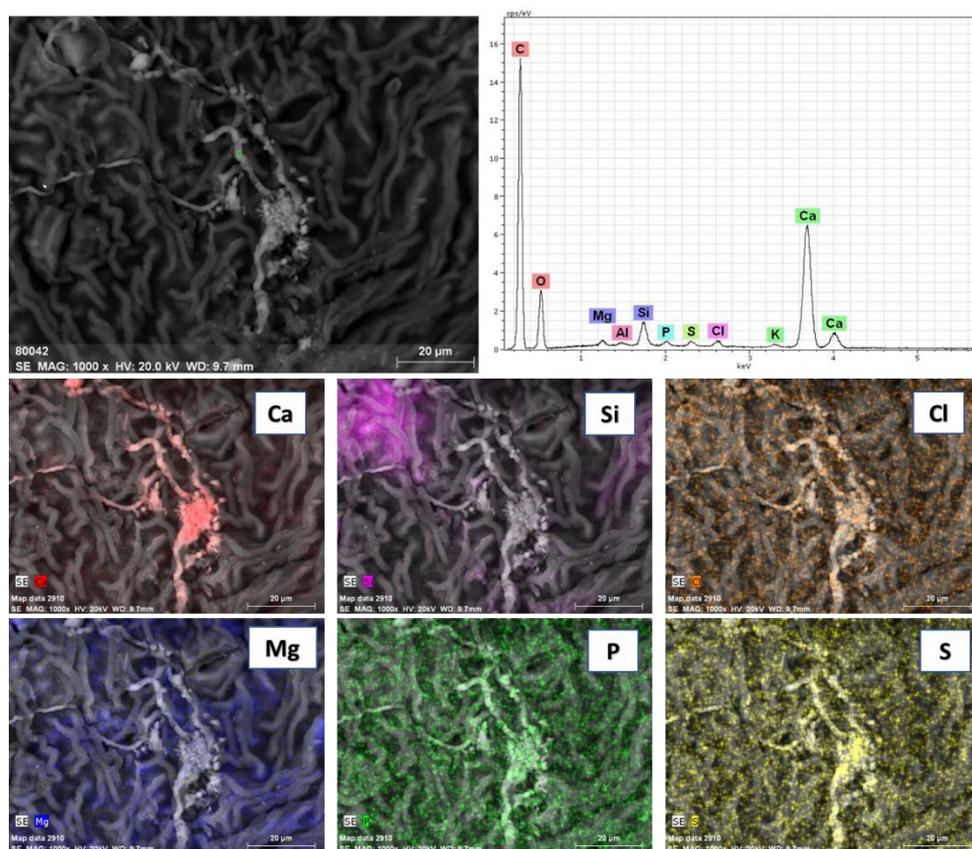


Рисунок 3.23 Новообразованный кальцит на поверхности листа осины: – общий вид; - распределение Ca, Si, Cl, Mg, P, S на поверхности листа; – энергодисперсионный спектр (н.п. Чажемто (внутренняя сторона листа))

Таким образом, пространственное распределение химических элементов в листовой пластинке методом разделения показал, что поступление специфичных для данного древесного вида химических элементов (Zn, Au), имеют комплексный характер, в то же время РЗЭ, вероятно, поступают из атмосферного воздуха. Учитывая, что компонентный состав деревьев формируется в т. ч. и путем корневого питания необходима разработка критериев разделения источников поступления вещества.

Метод отмывания показал, что листья осины обыкновенной являются хорошим природным планшетом для изучения пыле-аэрозольного загрязнения. Для выявления факта аккумуляции химических элементов в листьях осины требуется использовать листья растений, произрастающих в естественной среде обитания, удаленных от интенсивного пыления (эолового переноса) в этом случае не потребуется отмывки листьев.

## ГЛАВА 4. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ОБСТАНОВОК ТЕРРИТОРИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТОМСКОЙ И КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

### 4.1 Отношение Th/U в листьях осины как индикатор эколого – геохимической обстановки

Для выявления закономерностей распределения радиоактивных элементов в золе листьев осины были рассчитаны индикаторные отношения Th/U, что позволяет провести геохимическую типизацию выделившихся участков и продемонстрировать характер распределения радиоактивных элементов. Данное отношение отражает геохимический состав подстилающих горных пород и позволяет выявить нарушения природного баланса этих элементов, вызванных интенсивным техногенным воздействием (Рихванов, 1995; Барановская, 2011; Юсупов и др., 2016). По данным Рихванова Л.П. пониженные торий-урановые отношения ( $< 3$ ) в почвах при их естественном залегании характеризуют воздействия предприятия ядерно-топливного цикла. Нормальными отношения по мнению автора можно считать отношения от 3 до 5. Наши работы по изучению изменения этого отношения в почве и листьях осины изучаемых регионов показали, что имеет место некоторая его вариативность (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Статистические показатели рассчитанных отношений радиоактивных элементов в золе листьев осины на условно выделенных участках

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

По значениям Th/U показателя в золе листьев осины и почве выделяются точки с ториевой ( $\text{Th/U} > 2,5$ ), смешанной ( $\text{Th/U} = 1-2,5$ ) и урановой

( $\text{Th}/\text{U} < 1$ ) природой накопления. Из таблицы 4.1 видно, что в большинстве выделенных участков  $\text{Th}/\text{U}$  отношение в золе листа осины ниже, чем в почве. Это не противоречит утверждению В.И. Вернадского (Вернадский, 1940), что живое вещество выступает концентратором U. Что также было выявлено в работах Н.В. Барановской (Барановская Н.В, 2003; 2005, 2009, 2013 и др.). В Томской области данное отношение находится в пределах от 3 до почти 5 на всех выделенных участках, и по данным Л.П. Рихванова (1995) величина  $\text{Th}/\text{U}$  2,5-5 определяется как ториевая. В Кемеровской области данное отношение в почве соответствует смешанной природе. По данным исследователей (Осипов, 1964), данный 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. Это хорошо демонстрирует изменение содержания элементов в районах с интенсивным пылением, на выделенном нами участке с грунтовой дорогой (рисунок 4.1).

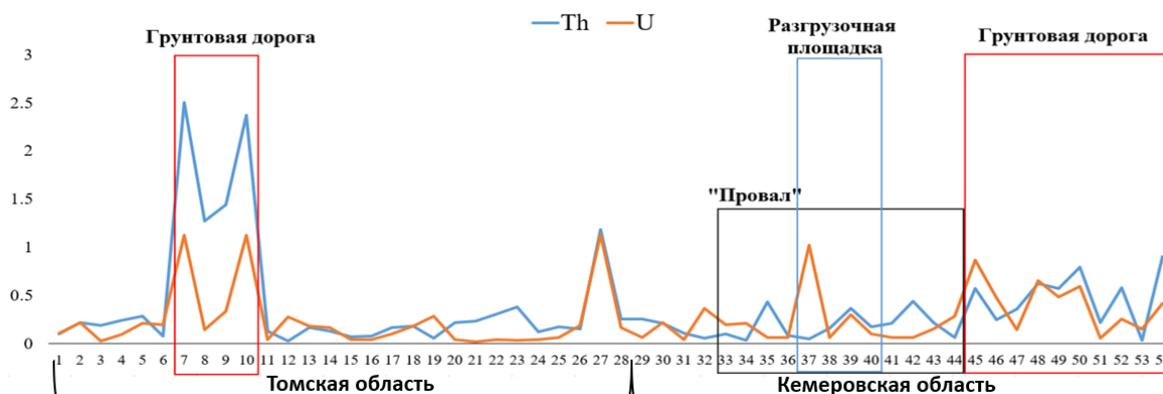


Рисунок 4.1 Изменение содержания тория и урана в составе листьев осины на территории железорудных объектов Томской и Кемеровской областей (мг/кг)

На этом же рисунке видно, что некоторое увеличение содержаний радиоактивных элементов наблюдается в районе разгрузочной площадки (складирование компонентов смеси на поверхности, для отсыпки провала) в Кемеровской области. Изучение закономерности накопления урана и тория в почве и листьях осины на всех изученных участках в Томской и Кемеровской области показывают рисунок 4.2. (А, Б). Хорошо видно, что все точки в районе

грунтовых дорог как на территории Томской, так и Кемеровской областей характеризуются более интенсивным накоплением в почве и интенсивным привносом в листья. Содержание радиоактивных элементов в Томской области по выделенным участкам варьируется в листьях осины и почве: грунтовая дорога Th – от 1,3 до 2,5/ от 10,2 до 11,8; U – от 0,14 до 1,12/от 1,9 до 2,8; территория СГД – Th от 0,01 до 0,24/от 7,2 до 11; U – от 0,05 до 1,6/1,8 до 3,2; дороги с асфальтовым покрытием - Th от 0,02 до 1,18/от 7,3 до 11,8; U – от 0,02 до 0,28/ от 1,5 до 3,7 мг/кг соответственно. В Кемеровской области содержание тория и уран в почве и листьях осины варьируется : грунтовая дорога Th – от 0,03 до 0,9/от 0,5 до 5,8; U – от 0,05 до 0,87/от 1,31 до 7,35; разгрузочная площадка – Th от 0,05 до 0,36/ от 4,2 до 6,7; U – от 0,06 до 1,02/ от 2,3 до 14,4; дороги с асфальтовым покрытием - Th от 0,001 до 0,05/ от 2,2 до 9,6; U – от 0,03 до 0,44/ от 1,3 до 10,1 мг/кг соответственно.

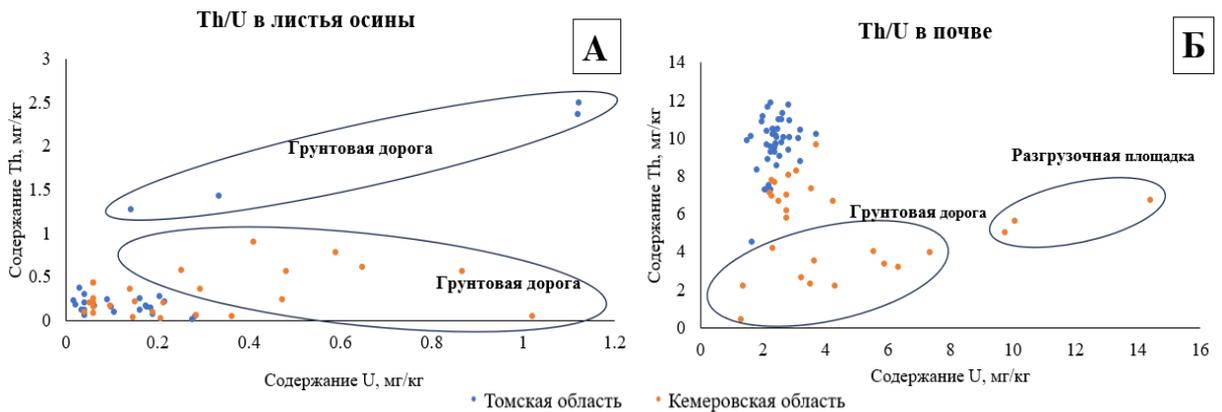


Рисунок 4.2 Распределение проб листьев осины и почвы в полях отношения

Th и U

На привнос элементов в состав растений существенно влияют почвенные растворы. От содержания химических элементов в водах региона может существенно изменяться содержание в листьях деревьев. Именно поэтому нами был проведен анализ расположения содержаний тория и урана на генерализованной схеме (Рихванов, 2016), включающей данные о водах (рисунок 4.3). Как видно из рисунка, болотные воды характеризуются низкими содержаниями элементов. При этом отношение тория к урану составляет 5,1.

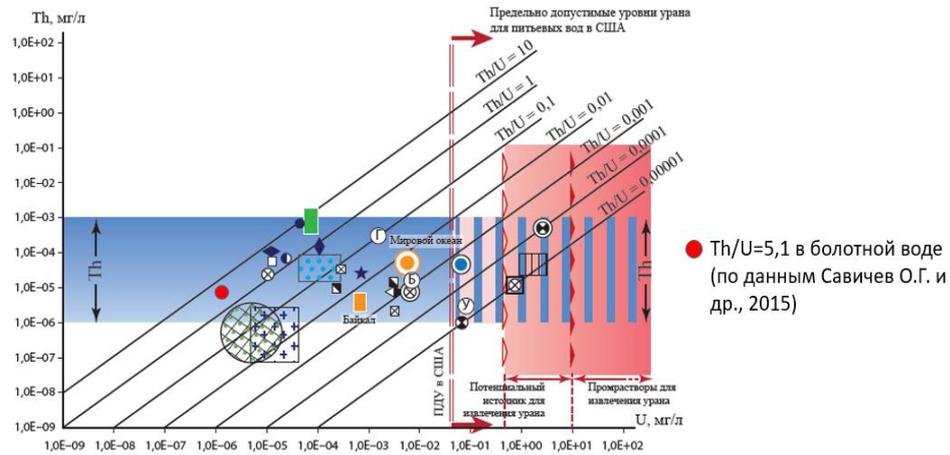


Рисунок 4.3 Радиогеохимическая типизация вод гидросферы (Рихванов Л.П., 2016) с дополнением автора

По данным Савичева О.Г (Савичев и др., 2017; 2021), существенное влияние на привнос в верхние горизонты торфяной залежи оказывает пылевой фактор, что формирует смешанный характер поступления элементов. Это не противоречит другим исследователям, которые говорят о том, что верхняя часть торфов формируется за счет эолового привноса. Наши данные, показывающие более высокое содержание радиоактивных элементов в листьях осины в районе Васюганского болота, что также свидетельствует о преобладании фактора эолового привноса материала в листья. Это позволяет предполагать, что пыление оказывает более существенное влияние нежели почвенные растворы. Наши данные подтверждаются проведенным изучением торфяной залежи на этом участке (рисунок 4.4).

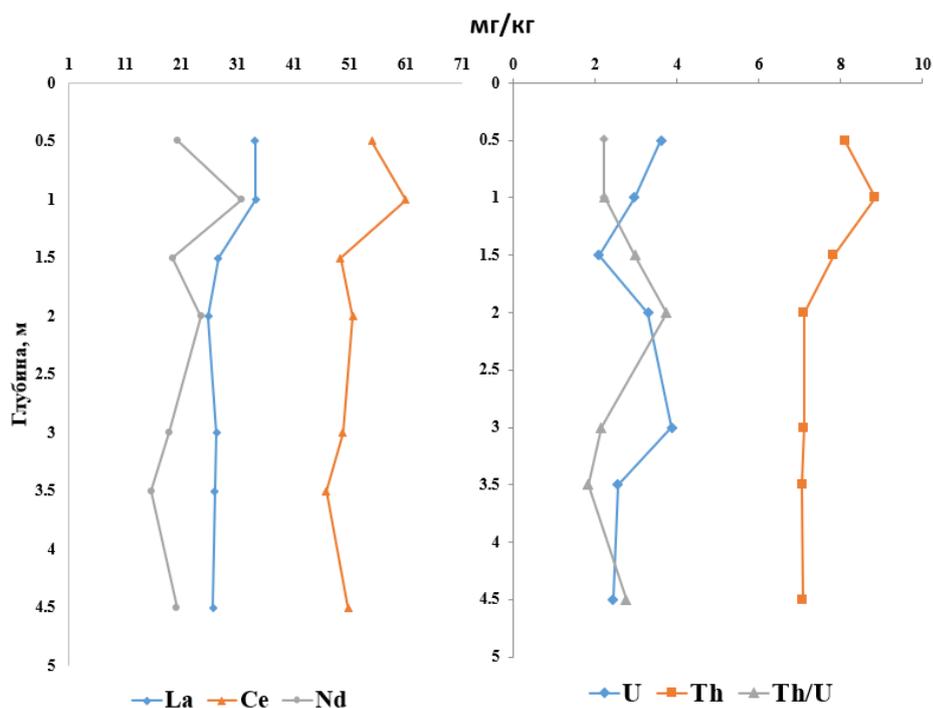


Рисунок 4.4 Вертикальное распределение редкоземельных элементов La, Ce, Nd, радиоактивных U, Th и ториево-уранового отношения в торфяной залежи на участке Васюганского болотного комплекса Восточного (Полынянского) участка Бакчарского рудного узла

Нами проведено сравнение полученных данных с существующей генерализованной схемой, составленной Л.П. Рихвановым (2009) для почв и листьев Томской области. Схема показывает, что наши данные, полученные для этих элементов, хорошо укладываются в общую схему, характеризующие данные среды. Так, листья по содержанию тория и урана в целом располагаются ближе к биологическим объектам, а почвы – к почвам мира (рисунок 4.5).

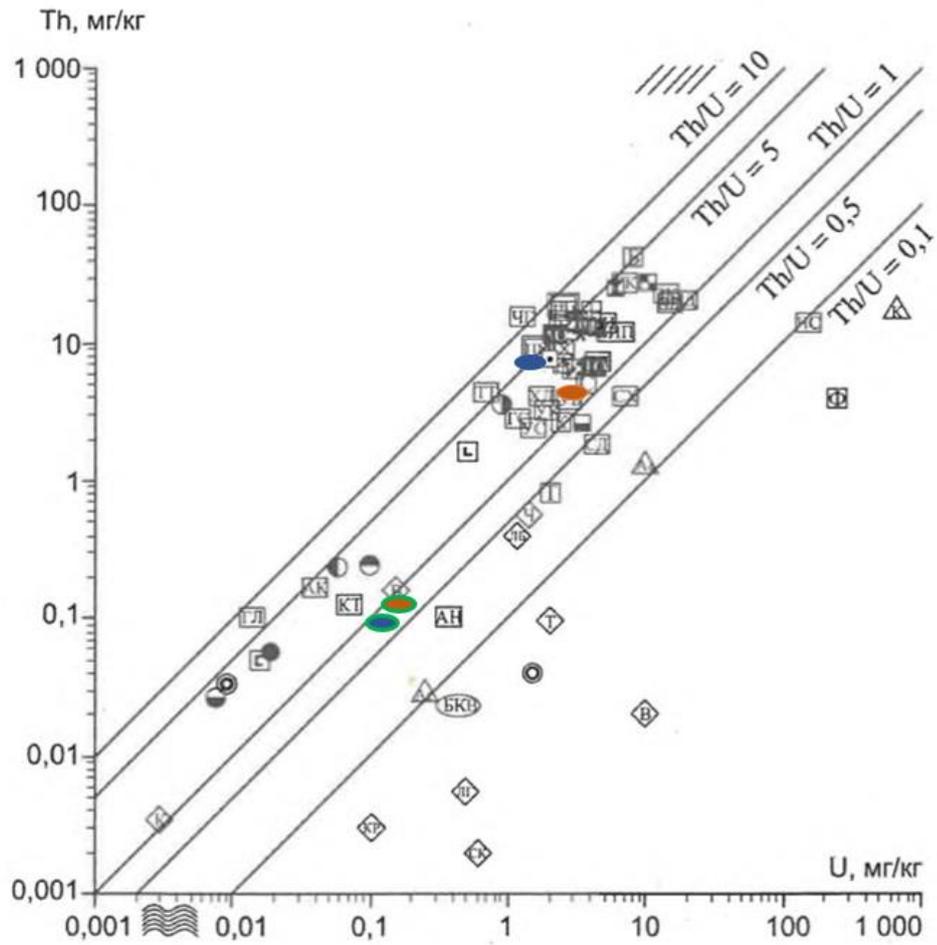


Рисунок 4.5 Генерализованная схема радиогеохимических характеристик объектов геосферных оболочек (Рихванов, 2009) с дополнением автора (условные обозначения см. на стр. 80)

☉ – Солнечная система	//// – Поле реализации монацитовых пляжных песков
● – Земля	● – Соленые отложения (накись) из питьевых вод населенных пунктов
☾ – Луна	☉ – Солнечная система
☾ – Хондриты	☾ – Луна
☾ – Валовый состав континентальной коры	☾ – Хондриты
☾ – Океаническая кора	☾ – Валовый состав континентальной коры
☾ – Основные породы	☾ – Океаническая кора
☾ – Ультраосиовные породы	☾ – Основные породы
☾ – Породы среднего состава (диориты)	☾ – Ультраосиовные породы
☾ – Породы кислого состава (граниты)	☾ – Породы среднего состава (диориты)
☾ – Гранодиориты	☾ – Породы кислого состава (граниты)
☾ – Сланцы обыкновенные	☾ – Гранодиориты
☾ – Алмазносные кимберлиты, Африка	☾ – Сланцы обыкновенные
☾ – Глины	☾ – Алмазносные кимберлиты, Африка
* – Пыльсаэрозольные выпадения	☾ – Глины
☾ – Вода оз. Байкал	* – Пыльсаэрозольные выпадения
☾ – Вода морская	☾ – Вода оз. Байкал
☾ – Кораллы, южная часть Тихого океана	☾ – Вода морская
☾ – Породы чарнокит-гранулитовой формации	☾ – Кораллы, южная часть Тихого океана
☾ – Породы тоналит-трондьемитовой формации	☾ – Породы чарнокит-гранулитовой формации
☾ – Гнейсы биотитовые	☾ – Породы тоналит-трондьемитовой формации
☾ – Щелочные граниты	☾ – Гнейсы биотитовые
☾ – Агпайтовые нефелиновые сиениты	☾ – Щелочные граниты
☾ – Карбонатные породы	☾ – Агпайтовые нефелиновые сиениты
☾ – Пески прибрежные	☾ – Карбонатные породы
☾ – Бокситы	☾ – Пески прибрежные
☾ – Галит	☾ – Бокситы
☾ – Ангидрит	☾ – Галит
☾ – Красные глубоководные глины (ТО – Тихий океан; АО – Атлантический)	☾ – Ангидрит
☾ – Биогенные илы Тихого океана	☾ – Красные глубоководные глины (ТО – Тихий океан; АО – Атлантический)
☾ – Зола черника, юг Сибири	☾ – Биогенные илы Тихого океана
☾ – Зола лабазника, юг Сибири	☾ – Зола черника, юг Сибири
☾ – Коматиниты зелено-каменных поясов Сибири	☾ – Зола лабазника, юг Сибири
☾ – Асфальтены нефтей	☾ – Коматиниты зелено-каменных поясов Сибири
☾ – Асфальтиты нефтей	☾ – Асфальтены нефтей
☾ – Керогены нефтей	☾ – Асфальтиты нефтей
● – Почва, Томская область	☾ – Керогены нефтей
● – Зола листьев осины, Томская область	☾ – Почва, Томская область
	● – Почва, Кемеровская область
	● – Зола листьев осины, Кемеровская область

Таким образом, полученные данные по содержанию урана и тория в почве и листьях не противоречат существующим исследованиям и укладываются в общую схему формирования элементного состава сред. При этом наблюдается существенное влияние на концентрирование элементов пылевого фактора. На исследуемых территориях преобладает смешанная природа накопления радиоактивных элементов. Это может говорить о том, что радионуклиды имеют как техногенный, так и природный источник накопления. Наблюдается аналогия накопления тория и уран с группой РЗЭ.

## **4.2 Редкоземельные элементы в составе листьев осины как индикатор пылевой нагрузки**

Эколого-геохимические исследования на территориях с низкой антропогенной нагрузкой интересны тем, что позволяют получить и проанализировать информацию по фоновому изменению геохимического поля. Определить главные природные и местные локальные, а поэтому легко идентифицируемые антропогенные факторы, влияющие на изменчивость используемых геохимических параметров. Редкоземельные элементы (РЗЭ) используются, как один из наиболее информативных инструментов анализа эколого-геохимической информации природных планшетов (Giardi et al., 2018; Дорохова и др., 2020). 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 (Гололобова, 2022). Важным является выявление диапазонов концентраций химических элементов и появление индикаторных признаков на территории с природными геохимическими аномалиями (Дорохова и др., 2020; Giardi et al., 2018). Примечательной чертой изученной территории является наличие железорудных залежей на территориях Томской и Кемеровской областей.

В статистических расчетах участвовала информация по элементному составу 165 образцов растительного и почвенного материала. При обработке данных осуществлен переход к относительным величинам концентрирования – коэффициент концентрации ( $K_k$ ), путем деления содержаний химических элементов на соответствующие средние медианные оценки. Значимая прямая корреляция между РЗЭ позволила представить их в виде суммы, как всего их проанализированного спектра. (Балашов, 1976; Солодов, 1987;). Чтобы вернуть полученные числовые значения аддитивных показателей к средним уровням  $K_k$  химических элементов, они нормированы по количеству участвующих в суммах элементов. Этот принцип выдержан для всех привлеченных в анализе суммарных модулей.

Для устранения характерного для РЗЭ распределения и определения отдельных аномалий, измеренные концентрации РЗЭ нормируют к различным эталонным образцам. Этот метод исключает любые вариации между четными и нечетными элементами и позволяет определять фракционирование РЗЭ в различных физико-химических условиях (Ван et al., 2018). В данной работе использовался североамериканский сланец (NASC) (Gromet et al., 1984). По данным Migaszewski, Gałuszka (2015) «сланцы» применяются для изучения процессов гипергенеза и в основном используются в исследованиях окружающей среды. Анализ нормированных на NASC содержаний РЗЭ показал, что почвы двух территорий опробования (Томская и Кемеровская область) определяются схожим распределением. Почвы территории Кемеровской области характеризуются преобладанием всей группы РЗЭ. В золе листьев картина меняется относительно трех элементов Tm, Yb и Lu (рисунок 4.6). В золе листьев осины и почве фиксируется положительная аномалия Eu. Что также было зафиксировано в исследованиях Агеевой Е.В., 2022 в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) и почве на данных территориях.

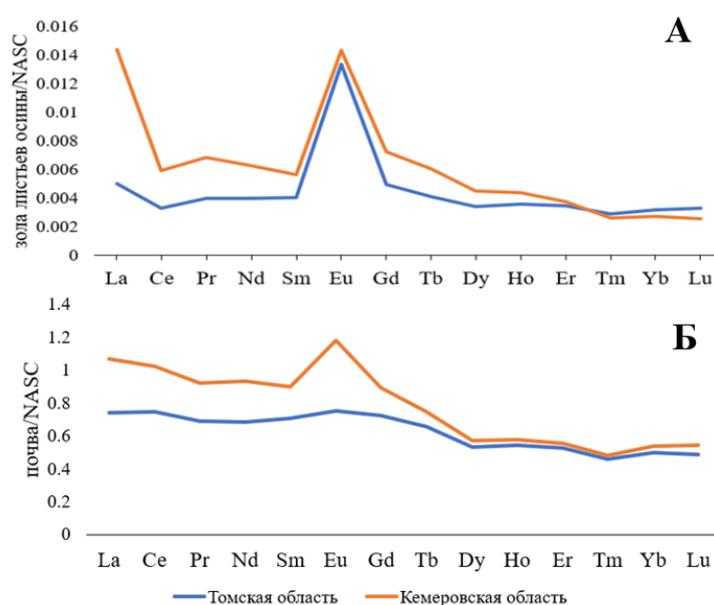


Рисунок 4.6 Кривые распределения РЗЭ, нормированные на NASC: А- зола листьев осины (*Populus tremula* L.); Б- почва. (по данным ИСП-МС, Центр коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН, 2023)

Геохимическое поле содержания химических элементов в листьях, в сравнении с почвами, более дифференцировано для представительной группы компонентов. Исключением является отрезок с. Парбиг – с. Пчелка, где содержание элементов в растительном материале резко отличаются в сторону больших значений по выборке. Во многом, пробы этого участка сказались на общей оценке степени рассеяния литофильных элементов в листьях осины. По условиям опробования обсуждаемый интервал профиля отличается грунтовым покрытием дороги, по которой осуществлялось перемещение.

Структура корреляционных связей химических элементов в листьях и почве, в значительной мере, определяется схожей по набору компонентов наиболее представительной ассоциации (рисунки 4.7, 4.8).

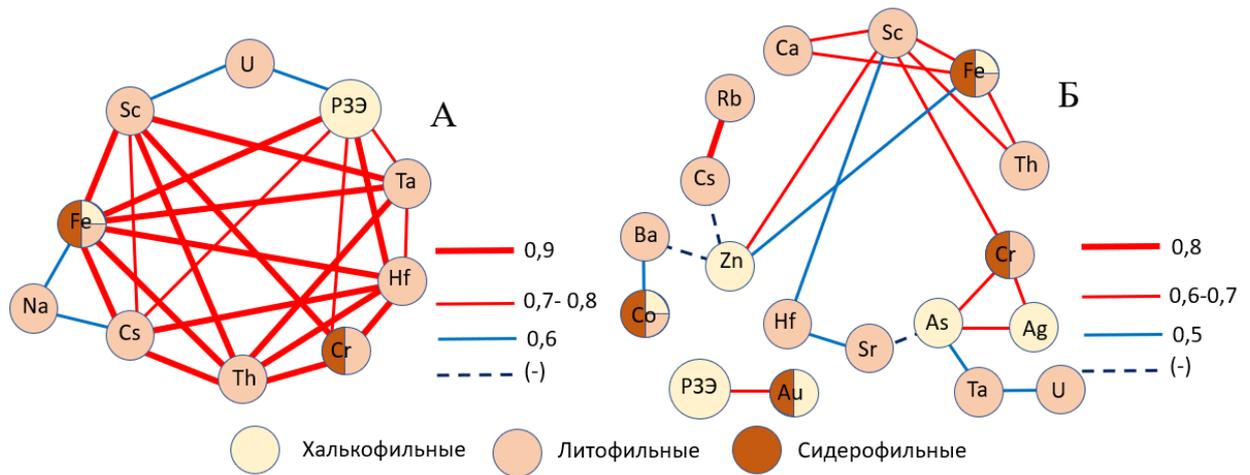


Рисунок 4.7 Корреляционные взаимосвязи химических элементов в составе золы листьев осины: А) Томская область; Б) Кемеровская область

Примечание: сплошной жирной красной линией показаны основные взаимосвязи на уровне значимости А(0,9), Б(0,8), сплошной тонкой красной – на уровне 0,7-0,8(А), 0,6-0,7(Б); сплошной синей – 0,6(А),0,5(Б); штриховой – отрицательные корреляции.

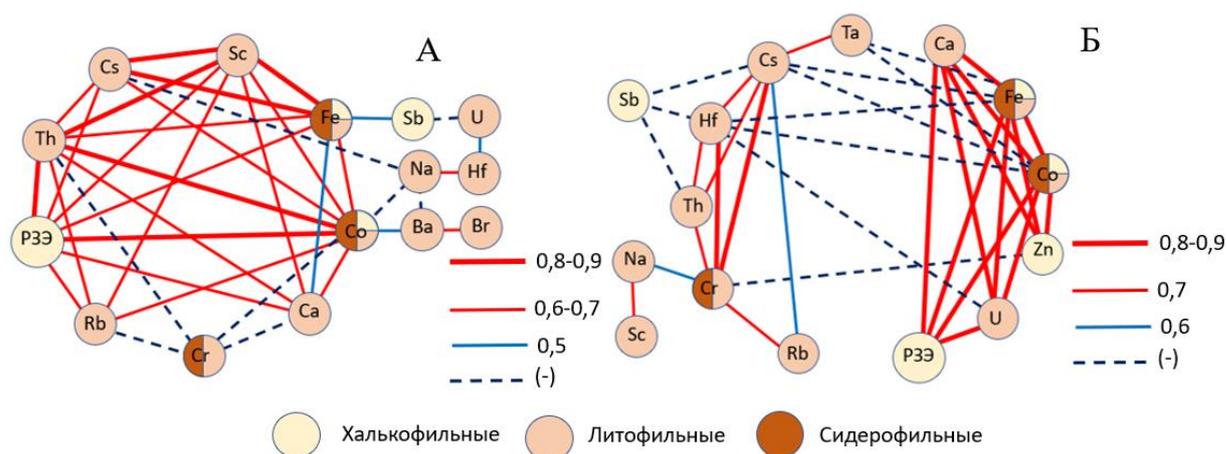


Рисунок 4.8 Корреляционные взаимосвязи химических элементов в почве Томской области (А); Кемеровской области (Б)

Примечание: сплошной жирной красной линией показаны основные взаимосвязи на уровне значимости 0,8-0,9, сплошной тонкой красной – на уровне 0,6-0,7(А), 0,7(Б); сплошной синей – 0,5(А), 0,6(Б); штриховой – отрицательные корреляции.

Для почв Томской области она не противоречит известной лито-сидерофильной геохимической специализации осадочных отложений верхней части разреза (Гусев и др., 2016). В растительном материале происходит некоторое обособление элементов, характеризующихся интенсивным и средним биологическим накоплением. Что, во многом, определяется способностью к аккумуляции химических элементов в тканях растений в зависимости от их содержания в корнеобитаемой зоне – так называемой «барьерностью» (Ковалевский, 1984; Овсяникова, 2019).

Таблица 4.2 Факторные нагрузки Кк химических элементов в листьях осины

Территория исследования	Факторные нагрузки (выделены нагрузки $\geq 0,5$ )			
	ГК-1	ГК-2	ГК-3	ГК-4
Томская область	Na, Sc, Cr, Fe, As, Cs, Hf, Ta, Th, U, PЗЭ	Ca, Sr	Zn, Ag, Au	Rb, Ba
Кемеровская область	Ca, Sc, Fe, Sr, Hf, Th	Co, Zn, Rb, Cs, Ba	Cr, As, Ag, Ta	Br, Sb, Hf

Примечание: ГК- главные компоненты.

Спектр элементов (таблица 4.2), попавший в ГК-1, однозначно указывает, что его влияние связано с терригенным материалом частиц почв в

т.ч. эоловой пыли. Для косвенной оценки интенсивности ее аккумуляции в природных планшетах возможно использование числовой информации по уровням накопления суммы РЗЭ (Sobolev et al., 2022). Выбор из ассоциации литофилов и сидерофилов в пользу РЗЭ обусловлен высокой статистической устойчивостью суммы, которая в конкретном случае, обеспечена данными по концентрации 8 элементов цериевой (La, Ce, Nd, Sm, Eu) и иттриевой (Tb, Yb, Lu) групп (Солодов, 1987; Балашов, 1976). Активность поглощения элементов корневой системой растений в т.ч. зависит от щелочно-кислотных параметров почв (Ковалевский, 1984). Собственно водородный показатель на точках опробования не измерялся. Тем не менее, сделано допущение, что сумма Ca и Sr является опосредованным маркером интенсивности биологического накопления элементов за счет химической композиции почв. Для идентификации преобладающего источника (почва–эоловая пыль) поступления компонентов в листья осины также были привлечены Fe и Zn (рисунок 4.9).

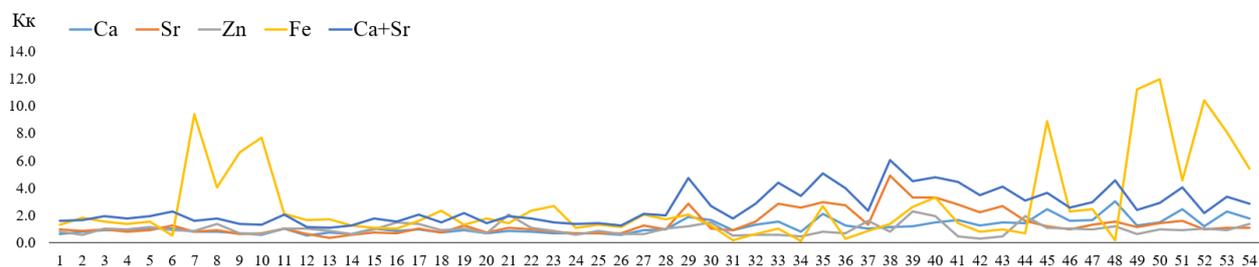
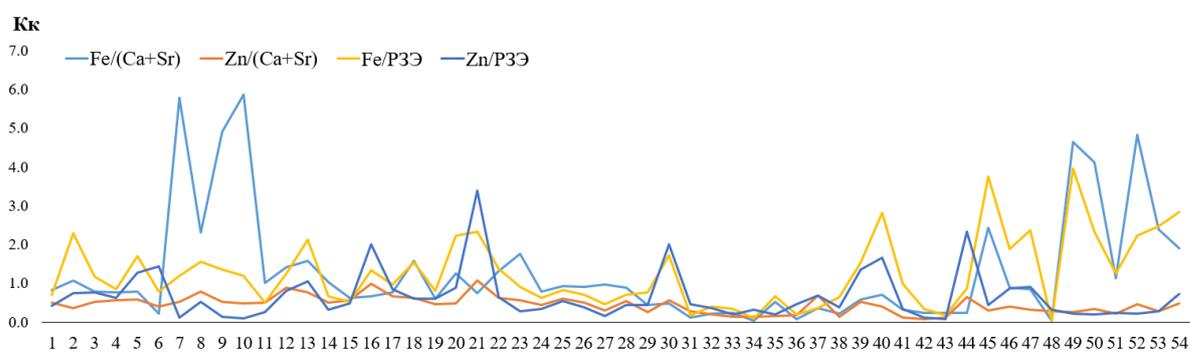


Рисунок 4.9 Графики изменчивости биогеохимических и литохимических параметров

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

С одной стороны, гидроокислы и окислы железа являются хорошими сорбентами для группы химических элементов-комплексобразователей и

гидролизатов, широко представленных в ГК-1 (таблица 4.2). Тем самым, они являются важной составляющей формирования химического состава эоловой пыли. С другой стороны,  $Fe^{2+}$  активно участвует в водной миграции и, например, при трансформации физико-химической обстановки в почвах под воздействием поступающих из глубоких горизонтов углеводородов, активнее поглощается растениями. «Противофазные» биогеохимические и литохимические аномалии Fe используют как индикаторы залежей нефти и газа (Макеев и др., 2015). В нашем случае, интересно распределение этого элемента на территориях с железорудными аномалиями. Цинк являясь практически безбарьерным элементом для осины – весьма эффективный элемент-индикатор при биогеохимических поисках погребенных рудных залежей (Ковалевский, 1984). В растительном материале участвующих в анализе проб он находится в значимой обратной взаимосвязи с РЗЭ (рисунок 4.9). С целью косвенной дифференциации источников пополнения элементного состава биоматериала привлечены отношения – к суммам РЗЭ (эоловая пыль) и Ca-Sr (корневое питание) (рисунок 4.10).



**Рисунок 4.10** Графики изменчивости биогеохимических и литохимических параметров

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

Нормирование Fe к РЗЭ приводит к «деградации» данной контрастной неоднородности, обратный эффект при привлечении в знаменатель  $\text{Ca}+\text{Sr}$ . Весьма контрастный ореол высоких значений биогеохимического отношения Fe в точках 7-10, 45-54, судя по другим показателям, однозначно не связан с корневым поступлением элемента в растение из почв.

Кривые графиков изменчивости коэффициента концентрации Fe и РЗЭ в листьях осины близки между собой в точках опробования, выделяются 2 участка с грунтовыми дорогами, в точках 7-10 (Пчелка- Парбиг) и пробы, отобранные в точках 45-54 (территория Шорского национального парка), участки с интенсивным пылением, что особенно хорошо видно на интервале высокой неоднородности геохимического поля биоматериала (рисунок 4.11).

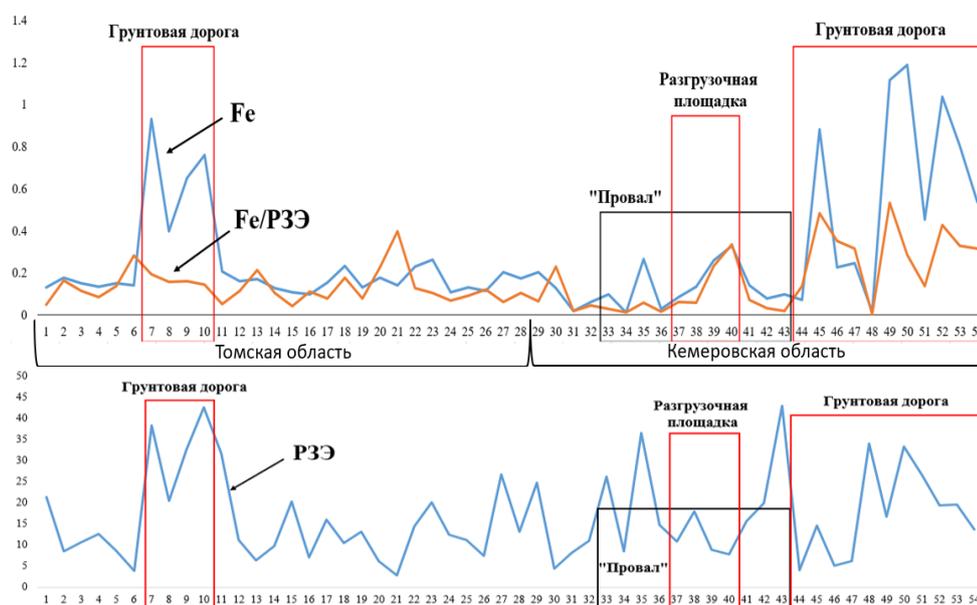


Рисунок 4.11 Кривые графиков изменчивости коэффициентов концентрации Fe и РЗЭ в листьях осины

Примечание: (1-54) – точки отбора проб почвы и листьев осины; (1-28)- Томская область; (29-54) – Кемеровская область.

Выявленный по биогеохимическим данным интервал аномальной неоднородности распределения химических элементов по геохимической специализации согласуется с особенностями элементного состава почв ландшафтов таежной зоны. Геохимической спецификой почвенного профиля кислой глеевой тайги является дефицит  $\text{O}_2$ , избыток  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{H}^+$  (Перельман и

Касимов, 1999). В вертикальном разрезе почв в верхнем горизонте А1 аккумулируются гумус, N, С, Н, К, Са, Р, Мn, Zn, Cu, Ni, Со. Эти же элементы, а также Fe, Al и SiO<sub>2</sub> выносятся с просачивающимися атмосферными осадками. Ниже (горизонт А2) в результате кислотного гидролиза происходит разложение минералов и вынос подвижных соединений Fe и Al в форме хелатов. Кислый горизонт сменяется менее кислым иллювиальным горизонтом В, где на щелочном и сорбционном барьерах вынесенные химические элементы аккумулируются. Возникновение аномалии в интервале н. Парбиг – н. Пчелка и территории Шорского национального парка обусловлено отбором проб в широком ореоле высокой пылевой нагрузки, связанным с движением автотранспорта по грунтовой дороге. Что также хорошо демонстрируют коэффициенты биологического поглощения и отношение коэффициента зольности к элементам, поступающим в листья. По литературным данным величина коэффициента зольности является одним из факторов антропогенного загрязнения, который формирует химический состав растительности (Кавеленова и др, 2001; Зубарева и др. 2011). Есть характерная взаимосвязь роста зольности и роста содержания Fe и РЗЭ. Максимальная зольность листьев осины наблюдается в районе грунтовых дорог (рисунок 4.12).

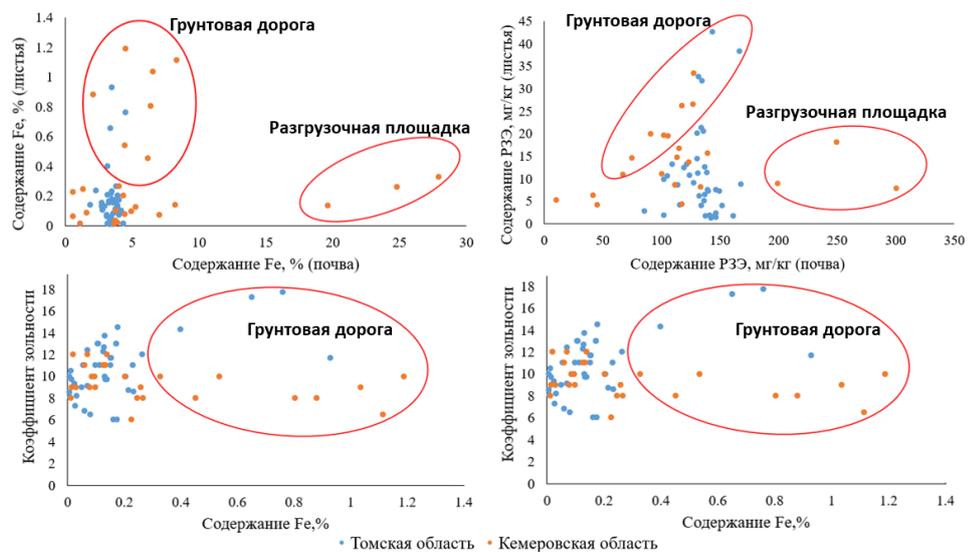


Рисунок 4.12 Распределение содержаний Fe и РЗЭ в полях отношений «почва-зола листьев», «коэффициент зольности- содержание х.э. в золе листьев»

Редкоземельные элементы, находясь в типичной ассоциации элементов-гидролизатов являются хорошим индикатором природного и антропогенного пылевого загрязнения. Прямая корреляция между пылевой составляющей природных планшетов (снежный покров, листья деревьев) используется при интерпретации эколого-геохимических данных (Giardi et al., 2018; Дорохова и др., 2020). В этом же регионе (Томская область) на основе изучения химического состава листьев тополя бальзамического и находок в осевшей на листьях дисперсной пыли минералов-носителей РЗЭ (монацит, ксенотим, циркон) предложен способ идентификации территорий, испытывающих воздействие активных дефляционных процессов (Дорохова и др., 2020). Для чего используется Zr/Ce отношение, а его низкие значения при интерпретации увязывают с территориями влияния природного пылевого фактора. Схожие мелкодисперсные твердые фазы РЗЭ были обнаружены на листьях и в наших исследованиях (рисунок 4.13). Однако, наиболее интенсивное концентрирование в аномальном биогеохимическом ореоле происходит для РЗЭ иттриевой группы. Последняя, в сравнении с цериевой группой, обладает способностью к образованию относительно мобильных органических комплексов и в условиях ландшафтов таежной зоны сильнее вовлечена в гипергенную миграцию (Перельман и Касимов, 1999).

Как следствие, более активное участие в реакции гидролиза, в сорбционном накоплении химических элементов глинами и гумусом. Возможно, поэтому не следует при индикации природного пылевого загрязнения опираться только на один элемент из РЗЭ.

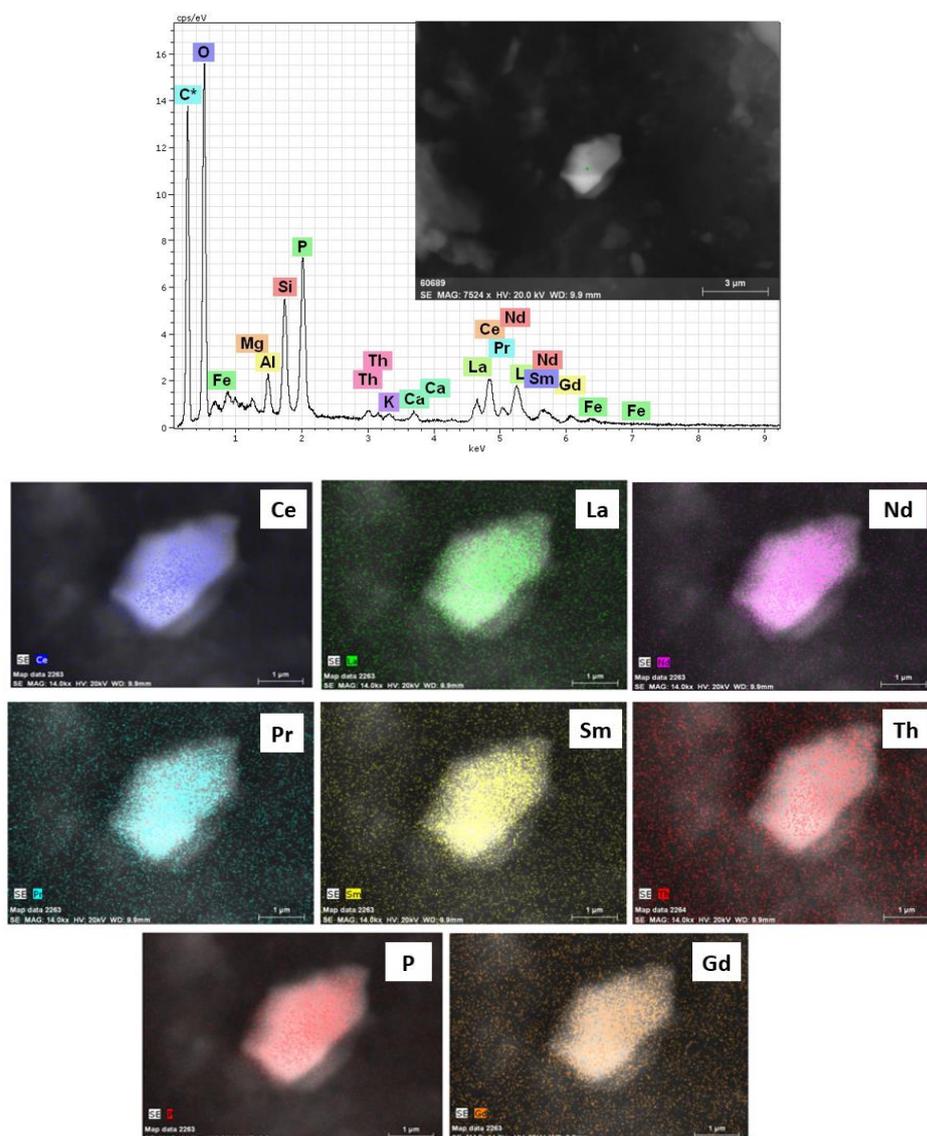


Рисунок 4.13 Частица редкоземельного фосфата (Монацит) на поверхности листа осины и его энергодисперсионный спектр и карты распределения элементов индикаторов этого минерала (н.п. Пчелка, Бакчарский район)

При изучении химического состава накопленных природными планшетами пыле-аэрозольного вещества отношения РЗЭ, принадлежащих разным группам, используют для прогноза конкретных источников техногенного загрязнения. При этом опираются на отклонения от характерных для природных образований соотношений, чаще характеризующихся преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми (Винокуров и др., 2014). Большой пласт подобных работ выполнен для снежного покрова и растительного биоматериала в Томской области (Таловская и др., 2014; Агеева, 2022; Юсупов и др., 2015; Шатилов, 2002).

Как уже отмечалось присутствие титан-циркониевой осадочной рудной формации во многом определяет геохимическую специализацию этого региона. В этом аспекте представляет интерес анализ особенностей концентрирования РЗЭ в материале проб настоящих исследований и сделанных нами обобщенных оценок по представительным данным геохимической характеристики продуктивных отложений Туганского и Георгиевского циркон-ильменитовых месторождений на юго-востоке Томской области (Рихванов и др., 2001). Глинистая составляющая продуктивных горизонтов, в сравнении с тяжелой фракцией, характеризуется увеличением относительной доли тяжелых лантаноидов в сумме РЗЭ (таблица 4.3). Минералы тяжелой фракции существенно различаются уровнями накопления РЗЭ, но в целом демонстрируют преобладание легких РЗЭ над тяжелыми. Исключением является циркон. Лейкоксен (полиминеральный агрегат в т.ч. гидроокислов железа) от неизмененного ильменита отличается заметным опережающим концентрированием РЗЭ цериевой группы. Максимальное смещение значений индикаторного отношения в эту сторону закономерно обеспечивает монацит.

Таблица 4.3 Среднее содержание РЗЭ в объектах исследований и продуктивных отложениях циркон-ильменитовых месторождений Томской области (Перебудина и др., 2023)

Анализируемый материал	Содержание, г/т		$(La + Ce + Sm + Eu)/4$
	$La + Ce + Sm + Eu$	$Yb + Lu$	$(Yb + Lu)/2$
Продуктивные отложения Туганского и Георгиевского циркон-ильменитовых месторождений (использованы фактические материалы Рихванова и др. (Рихванов и др., 2001))			
Легкая глинистая фракция	177.15	8.90	9.95
Тяжелая фракция	4612.20	188.83	12.21
Ильменит	205.74	29.00	3.55
Лейкоксен	1578.54	51.86	15.22
Анализ	335.00	45.00	3.72
Циркон	113.55	522.60	0.11
Монацит	260257.00	1657.00	78.53
Листья и почвы профилей исследования			
Листья фоновых уровней накопления химических элементов	10.03	0.14	34.62
Листья биогеохимической аномалии	24.99	0.72	17.29
Почвы	103.39	3.33	15.53

Биогеохимические пробы из аномальных интервалов профилей исследований выделяются относительным приращением содержания иттриевых РЗЭ, а по среднему значению индикаторного отношения близки к почвам региона. Опираясь на тренд изменения соотношения РЗЭ от легкой к тяжелой фракции прибрежно-морских циркон-ильменитовых россыпей можно предположить, что возникновение биогеохимической неоднородности в основном обеспечено дисперсным глинистым материалом почв в результате пыления грунтовой автодороги. Роль акцессорных минералов при пылевом загрязнении не столь существенна.

Анализ содержания Fe в почве и листьях осины на территории проведенной опытно-методической работы по скважинной гидродобыче рыхлой руды из бакчарского горизонта показал, что поведение элемента является обратным (рисунок 4.14): высокие содержания в почве соответствуют низким содержаниям в листе. В местах, где был сформирован рудоотвал (карта намыва) в с. Бакчар и находится самоизливающая скважина, в почве наблюдаются средние по выборке содержания Fe (3,4 %). Однако в листьях осины в этих же точках элементы присутствуют не в повышенных концентрациях (Fe – 0,05 %) относительно среднего по всей выборке (Fe – 0,14 %). Можно предполагать, что в данном случае большую роль играет форма поступления элементов в растение.

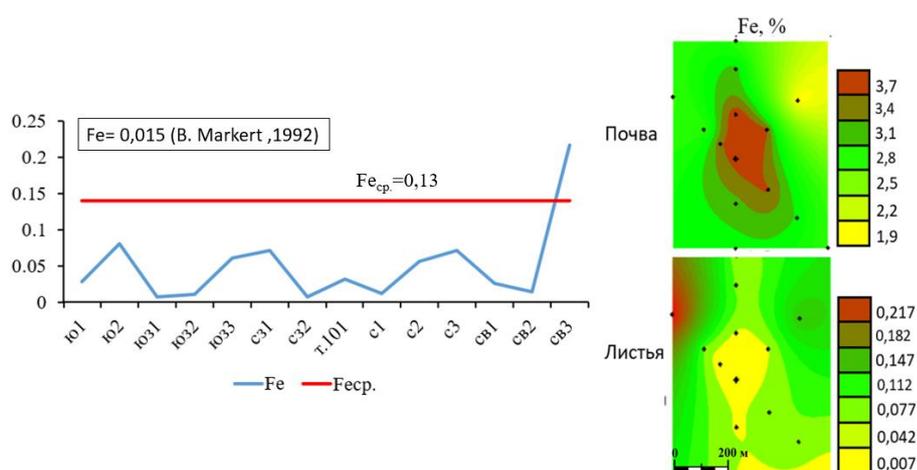


Рисунок 4.14 Распределения Fe в золе листьев осины и почве на территории карты намыва пробной СГД №101 (н.п. Бакчар) по данным ИНАА

По данным ряда авторов (Ермашов, 1982; Иванова, Лепокурова, Шварцев, 2010) практически все подземные воды района, как и всего региона, содержат повышенные и высокие концентрации ионов Fe - до 30 мг/л. При этом содержание Fe в 1,5–2 раза выше в водах четвертичных, неогеновых и палеогеновых отложений (первого водоносного комплекса), чем в водах верхнемеловых отложениях. Fe в них представлено в основном двухвалентной формой (90–95%), и эта форма является основной в миграции элемента в этих водах. По данным из литературных источников растения поглощают Fe в его окисленных формах: Fe<sup>2+</sup> (двухвалентное железо) или Fe<sup>3+</sup> (трехвалентное железо). Растения используют различные механизмы поглощения Fe, переводя его в растворимую форму. По данным (Иванов, 1997) в водах поверхностной зоны гидрогеохимия железа определяется его переходом из двухвалентной формы в трехвалентную. Последняя имеет более низкую миграционную способность. Поскольку в почве исследованных территорий преобладает именно трехвалентная форма железа (рисунок 4.15), а корневая система осины распределена в большей степени по поверхностным горизонтам, то закономерным является низкое содержание железа в листьях дерева.

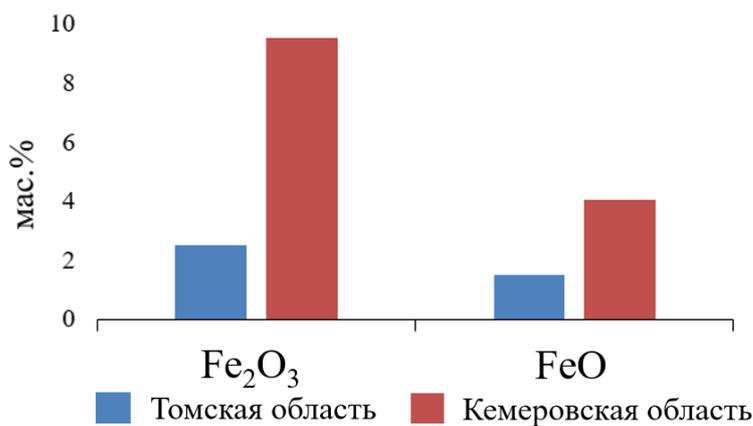


Рисунок 4.15 Содержания FeO выполнено методом титриметрии (ДВГИ ДВО РАН, 2023)

Таким образом, поступившее на поверхность с излившимся раствором железо окислилось, что не позволило растению впитать, казалось бы, доступное более высокое содержание элемента в почве. «Противофазные» биогеохимические и литохимические аномалии Fe иногда используют как

индикаторы природных аномалий (Макеев и др., 2015). Однако, в данном случае, мы имеем дело с индикатором техногенного процесса, что возможно использовать на данной территории при начале разработки месторождения, когда такого рода аномалии начнут формироваться. В этом случае противofазные аномалии могут служить показателями зон распространения техногенной нагрузки.

По результатам электронно-микроскопических исследований листьев была сформирована таблица встречаемости элементов. (таблица 4.4). Из таблицы видно, что у элементов, отнесенных нами к атмосферному поступлению процент встречаемости во всех пробах (7 проб, 200 просмотров) более 50%.

Таблица 4.4 Частота встречаемости химических элементов в листьях осины методом электронной сканирующей микроскопии

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

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

Атмосферное поступление элементов подтверждается наличием микроминеральных фаз железа, которое мы зафиксировали, в устьицах листа, кроме этого, также были зафиксированы микроминеральные фазы редкоземельных элементов и циркона на территории Томской и Кемеровской области (рисунок 4.16, 4.17).

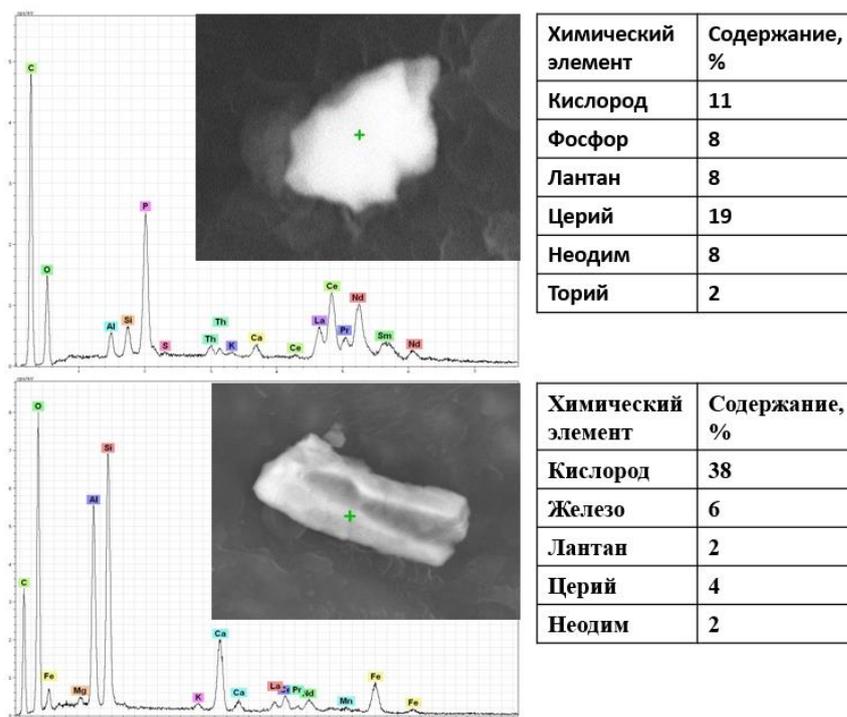


Рисунок 4.15 Частицы фосфата РЗЭ и кальциевого алюмосиликата РЗЭ на поверхности листа осины

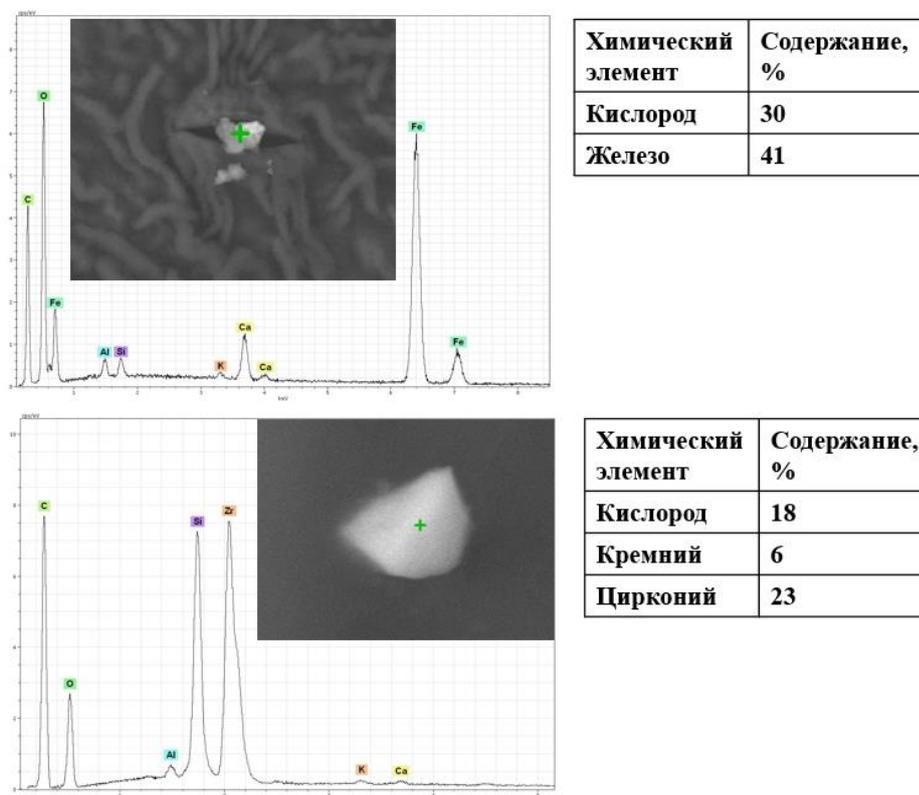


Рисунок 4.16 Частицы оксида железа и циркона на поверхности листа осины

Для территории Кемеровской области были зафиксированы специфичные элементы Sb, As, Au (рисунок 4.17).

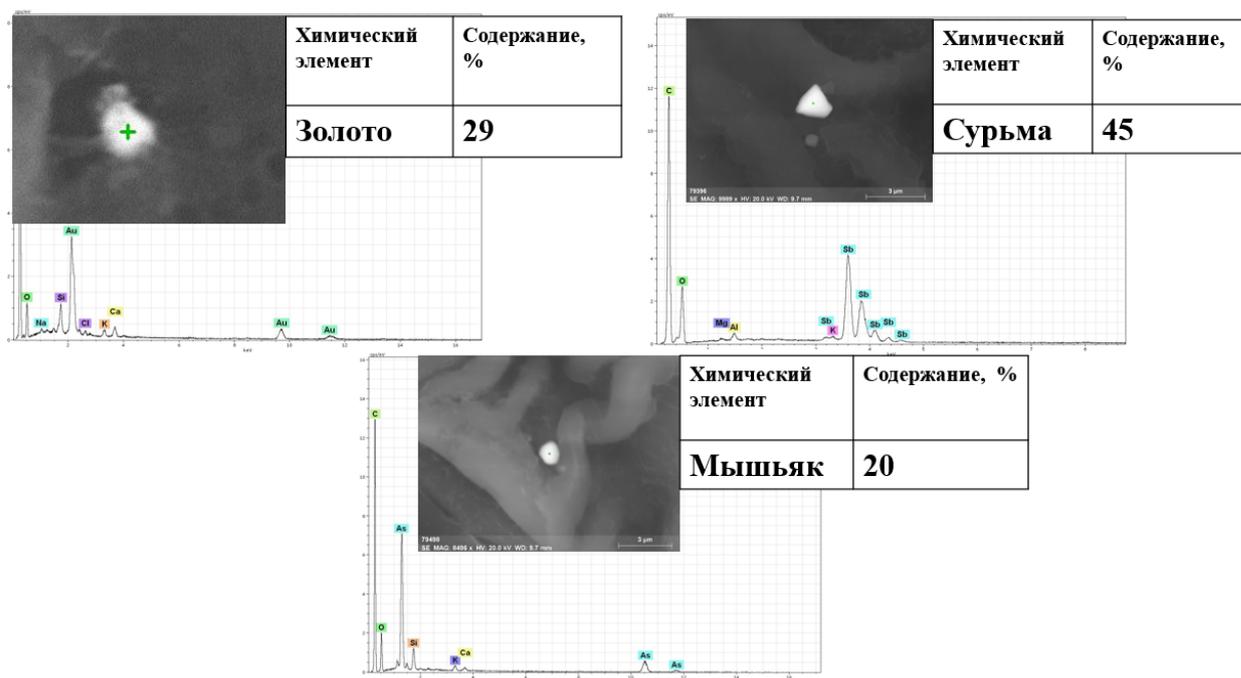


Рисунок 4.17 Минеральные фазы, содержащие золото, мышьяк и сурьму на поверхности листа осины (н.п. Таштагол)

Таким образом, выявлено, что антропогенная нагрузка приводит к диспропорции соотношений  $Th/U$  и  $Fe/PЗЭ$ . В составе листьев в зонах интенсивного пыления (грунтовые дороги, разгрузочная площадка) в листьях осины формируются микроминеральные фазы различного состава, характеризующие литолого-геохимический фон территории и эколого-геохимическую обстановку.

## ГЛАВА 5 СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВЕ И ЛИСТЬЯХ ОСИНЫ НА ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

### 5.1 Эколого - геохимические особенности территории восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) на основании изучения элементного состава листьев осины

Дана общая биогеохимическая характеристика ситуации на территории Томской области по 28 химическим элементам в листьях осины. По результатам инструментального нейтронно-активационного анализа рассчитаны статистические параметры для валового содержания химических элементов в золе листьев (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Статистические параметры содержания элементов (мг/кг) в золе листьев осины на территории Томской области (объем выборки -28 проб, 2020 г.) ИНАА

Элемент	X±A	M	X <sub>геом.</sub>	S	Экссесс	Асимметрия	Min	Max	V, %
Na, %	0,07±0,01	0,04	0,04	0,08	4,58	1,99	0,001	0,38	86
Ca, %	16,1±0,54	15,2	15,5	4,5	-0,56	0,36	6,56	26,11	33
Sc	0,32±0,06	0,2	0,2	0,51	15,87	3,96	0,03	2,8	120
Cr	5,65±0,69	4,31	2,8	5,71	2,7	1,6	0,24	25,1	69
Fe, %	0,13±0,02	0,08	0,08	0,16	13,12	3,41	0,01	0,93	112
Co	11,74±1,11	9,6	8,7	9,2	2,4	1,5	0,63	44,5	69
Zn	1964±67	1952	1889	558	2,3	0,9	863	3992	51
As	0,72±0,2	0,3	0,41	1,7	57	7,4	0,01	14	96
Br	24,8±1,7	22,4	20,7	14,2	1,12	1	1,97	71	97
Rb	54±6,5	42	38,6	54	11,3	3,03	3,4	317	61
Sr	804±29	791	769	241	0,45	0,53	304	1511	50
Ag	0,87±0,16	0,40	0,4	1,37	13,7	3,4	0,05	7,4	133
Sb	0,21±0,02	0,14	0,13	0,2	1,6	1,4	0,01	0,9	75
Cs	0,26±0,03	0,18	0,15	0,3	4	1,9	0,001	1,31	85
Ba	371±29	328	314	243	11,4	2,8	23,3	1634	73
La	2,8±0,31	1,93	1,7	2,6	4,8	1,9	0,01	13,8	67
Ce	3,7±0,5	2,41	2,01	3,9	5,04	2	0,05	20,7	73
Nd	2,11±0,3	0,7	1,2	2,5	4,1	2	0,03	11,4	91
Sm	0,74±0,1	0,54	0,4	0,7	1,52	1,33	0,01	3,02	70
Eu	0,07±0,01	0,04	0,04	0,10	6,9	2,6	0,001	0,43	74

Продолжение таблицы 5.1

Tb	0,08±0,01	0,05	0,04	0,10	5,4	2	0,0003	0,6	75
Yb	0,10±0,01	0,05	0,05	0,16	13,6	3,6	0,004	0,94	88
Lu	0,02±0,003	0,01	0,01	0,03	9	2,7	0,0002	0,15	102
Hf	0,13±0,03	0,03	0,05	0,26	16,1	3,9	0,01	1,4	124
Ta	0,05±0,01	0,01	0,02	0,07	6,3	2,3	0,001	0,4	193
Au	0,4±0,08	0,2	0,2	0,6	27	4,6	0,01	4,52	123
Th	0,23±0,05	0,10	0,08	0,5	15	3,8	0,0005	2,5	82
U	0,18±0,03	0,06	0,09	0,3	11,1	3,3	0,02	1,6	94
<b>Th/U</b>	<b>1,3</b>								

*Примечание: содержания железа, кальция и натрия - в %, остальные - в мг/кг;  $X \pm A$  - среднее арифметическое  $\pm$  ошибка среднего,  $X_{geom}$  - среднее геометрическое,  $M$  - медиана,  $S$  - стандартное отклонение,  $V$  - коэффициент вариации.*

Разброс валового содержания Ca имеет коэффициент вариации менее 50%, что соответствуют однородной выборке. Недифференцированная выборка, при коэффициенте вариации от 50% до 70%, наблюдается для содержания Cr, Co, Zn, Rb, Sr, La, Sm. Коэффициент вариации в пределах 70-100%, что соответствует сильно неоднородной выборке, отмечен для Na, As, Br, Sb, Cs, Ba, Ce, Eu, Tb, Yb, Th, U. Крайне неоднородная выборка (коэффициент вариации более 100%) характерна для Sc, Fe, Ag, Lu, Hf, Ta, Au.

Показатели коэффициента вариации выше 60% относят выборку к сильно вариабельной (Ткачев и др., 1975). Сильный разброс значений свидетельствует о многофакторном поступлении элементов, и невозможности использования параметрических критериев статистического анализа данных.

Для наглядности представлена диаграмма размаха медианы и разброса минимума и максимума содержания элементов в листьях осины (рисунок 5.1).

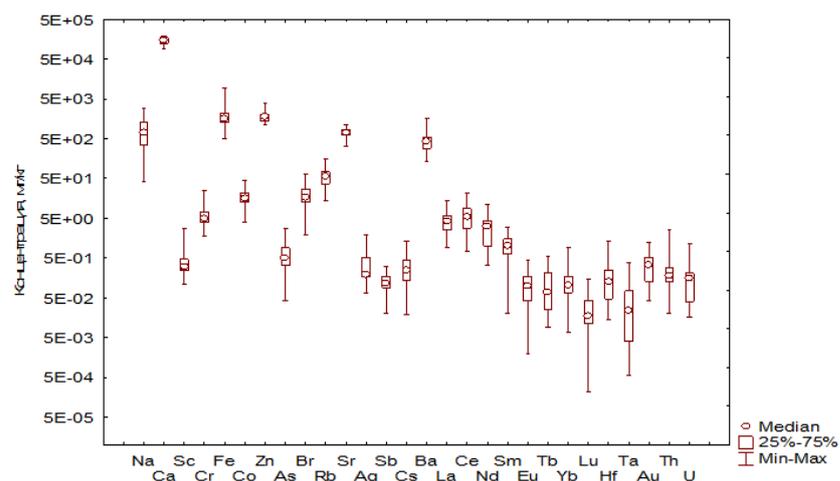


Рисунок 5.1 - Диаграмма размаха содержания химических элементов в мг/кг в золе листьев осины на территории Томской области

Именно медианные значения мы использовали в дальнейшем, поскольку средние арифметические зачастую дают завышенные показатели из-за сильной вариативности содержаний.

Сравнение содержания химических элементов в сухом веществе в листьях осины со средним содержанием химических элементов в сухом веществе растений (В. Markert, 1992) выявило, что происходит концентрирование следующих элементов Та ( в 2,3 раза); La ( в 2,4 раза); Sm ( в 2,9 раз); Zn, Th ( в 4 раза); Co ( в 9 раз); Au ( в 32 раза) (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Содержание химических элементов в сухом веществе листьев осины на территории Томской области в сравнении со средним содержанием в стандартном растении (Markert, 1992) (по данным ИНАА), мг/кг

Элемент	Na, %	Ca, %	Sc	Cr	Fe, %	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs
Среднее геометрическое содержание в листьях осины, мг/кг	0,01	1,7	<b>0,03</b>	0,6	<b>0,02</b>	<b>1,84</b>	<b>206</b>	0,06	1,84	5,8	<b>88</b>	0,03	0,01	0,03
Среднее содержанием в сухом веществе растений (В. Markert, 1992), ppm	0,015	1	<b>0,02</b>	1,5	<b>0,015</b>	<b>0,2</b>	<b>50</b>	0,1	4	50	<b>50</b>	0,2	0,1	0,2
Элемент	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U
Среднее содержание в листьях осины, мг/кг	<b>48</b>	<b>0,48</b>	<b>0,58</b>	<b>0,39</b>	<b>0,12</b>	<b>0,01</b>	0,01	0,01	0,002	0,02	<b>0,002</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>

## Продолжение таблицы 5.2

Элемент	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U
Среднее содержание в сухом веществе растений (В. Markert, 1992), ppm	40	0,2	0,5	0,2	0,04	0,008	0,008	0,02	0,003	0,05	0,001	0,001	0,005	0,01

Примечание: жирным шрифтом выделены элементы с  $K_k > 1$ .

Специфику техногенного воздействия и для выявления «геохимических ассоциаций» химических элементов в эколого-геохимических исследованиях применяют нормирование на литературные или условно фоновые показатели. Для этого мы использовали данные по среднему содержанию элементов в «эталонном растении» по В. Markert (1992), кларка ноосферы (Глазовская М.А., 1982,1988), среднего содержания (медиана) химических элементов в золе листьев рода тополь (Юсупов Д. В., 2022), а также относительно медианы содержаний элементов по всей выборки (N= 109) (таблица 5.3).

Таблица 5.3 Коэффициенты концентрации химических элементов в листьях осины восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) относительно литературных данных

Кларк	Геохимический ряд химических элементов
Содержание химических элементов в сухом веществе «эталонного растения» (В. Markert, 1992)	<b>Au<sub>32</sub>-Co<sub>9</sub>-Th<sub>4</sub>-Zn<sub>4</sub>-Sm<sub>3</sub>-La<sub>2,4</sub>-Ta<sub>2,3</sub>-Nd<sub>1,9</sub>-Sr<sub>1,8</sub>-Ca<sub>1,7</sub>-Sc<sub>1,7</sub>-U<sub>1,6</sub>-Eu<sub>1,4</sub>-Ba<sub>1,2</sub>-Fe<sub>1,2</sub>-Ce<sub>1,2</sub>-Tb<sub>0,9</sub>-Lu<sub>0,7</sub>-Yb<sub>0,6</sub>=As-Na<sub>0,5</sub>=Br-Cr<sub>0,4</sub>-Hf<sub>0,3</sub>-Sb<sub>0,1</sub>=Ag=Cs=Rb</b>
Кларк ноосферы (Глазовская М.А., 1982,1988)	<b>Au<sub>539</sub>-Zn<sub>40</sub>-Ba<sub>13</sub>-Ca<sub>9</sub>-Ag<sub>9</sub>-Sr<sub>3</sub>-Co<sub>2</sub>-Br<sub>0,8</sub>-Rb<sub>0,6</sub>-Sb<sub>0,5</sub>-La<sub>0,4</sub>-Sm<sub>0,3</sub>-As<sub>0,2</sub>=Nd=Tb=Ce-Cr<sub>0,1</sub>=U=Fe=Hf=Yb=Sc=Na=Lu=Th=Cs-Ta<sub>0,03</sub>-Eu<sub>0,02</sub></b>
Среднее содержание (медиана) химических элементов в золе листьев рода тополь (Юсупов Д. В., 2022)	<b>Au<sub>133</sub>-Ag<sub>5,8</sub>-Ta<sub>5</sub>-Tb<sub>2,9</sub>-Ba<sub>1,9</sub>-Zn<sub>1,7</sub>-Nd<sub>1,6</sub>-Rb<sub>1,5</sub>=Co-Sm<sub>1,3</sub>=La=Cs-Eu<sub>1,2</sub>=U=Ca-As<sub>1</sub>=Lu-Ce<sub>0,9</sub>=Br=Na=Hf-Sr<sub>0,8</sub>=Yb-Cr<sub>0,7</sub>=Sc-Fe<sub>0,6</sub>=Th-Sb<sub>0,5</sub></b>
Среднее содержание (медиана) химических элементов в золе листьев осины	<b>Hf<sub>3,4</sub>-Au<sub>3,1</sub>-U<sub>3</sub>-Ta<sub>2,5</sub>-As<sub>2,2</sub>=Ag-Th<sub>2</sub>-Nd<sub>1,7</sub>-Na<sub>1,6</sub>-Yb<sub>1,5</sub>=Sc-Br<sub>1,4</sub>=Cs=Eu-Fe<sub>1,3</sub>=Sm=Ce=Sb=Lu=Tb-Rb<sub>1,2</sub>=La-Co<sub>1</sub>=Zn=Ba-Cr<sub>0,9</sub>=Sr=Ca</b>

При нормировании к разным показателям наблюдается неравномерное распределение химических элементов в рядах, что можно считать

закономерным. При этом имеет место концентрирование одинакового спектра, что, на наш взгляд, позволяет выявить специфику влияния эколого – геохимических параметров территории произрастания растения, наряду со спецификой самого биологического объекта. Так, в рядах выделяются элементы, которые, согласно литературным данным (Ковалевский, 1984), характеризуют способность осины к специфичному концентрированию. К ним относятся такие элементы как Zn, Au. При этом автором отмечено, что Zn является эффективным элементом-индикатором при погребенных рудных залежах. На территории Томской области повышенные содержания Zn были отмечены исследователями в нерастворимом осадке снегового покрова и некоторых других средах (Рихванов, Язиков, 2006; Язиков 2006, Таловская, 2022) с упором на его возможное техногенное происхождение. В то же время подземные воды на данной территории отмечаются пониженными концентрациями Zn (Иванова и др., 2015). Таким образом, концентрирование цинка может быть связано в первую очередь с его избирательным накоплением данным видом древесной растительности. Изучение нами специфики накопления цинка и других элементов в зоне распространения железорудного месторождения показало, что вопрос индикаторной роли этого элемента в листьях осины неоднозначен. Так, изучение характера концентрирования элементов над зонами рудопроявлений показало, что отдельные повышенные содержания Zn, так же, как и Co наблюдаются не только над самими зонами распространения геохимической аномалии, но и за пределами границ как рудных узлов, так и самой металлогенической зоны. Такое нестабильное поведение тяжелых металлов может доказывать их смешанную природу, обусловленную как геохимической спецификой почв района, так и техногенным воздействием (рисунок 5.2).

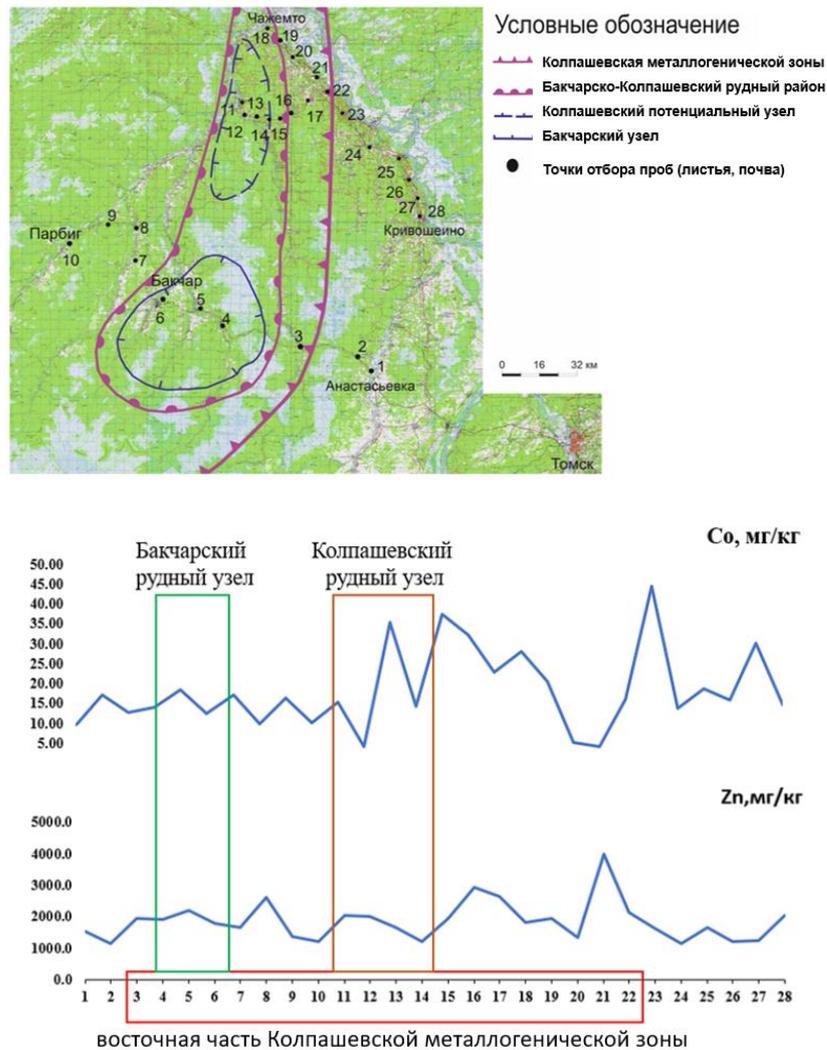


Рисунок 5.2 – Кривые распределения Co и Zn в листьях осины на территории Томской области

*Примечание: Анастасьевка (1), Вороновка(2), Плотниково (3), Польшнянка(4), Поротниково(5), Бакчар(6), Пчелка(7), Высокий Яр(8), Парбиг-1 (9), Парбиг-2(10), Подгорное-1(11), Подгорное-2(12), Ермиловка(13), Сухой Лог(14), Чемондаевка-1(15), Чемондаевка-2(16), Коломинские Гривы(17), Чажемто(18), Старокороткино(19), Староабрамкино(20), Леботер(21), Новоколомино(22), Обское(23), Верхняя Федоровка(24), Молчаново(25), Соколовка(26), Жуково(27), Кривошеино(28).*

Высокие показатели содержания цинка, как и кобальта, отмечены нами в районе автотрассы, что может характеризовать эоловый привнос в состав листьев элементов, специфичных для литогенной составляющей данной территории. То есть, несомненным является факт смешанного, природно – техногенного поступления химических элементов, однако техногенный характер сам по себе обусловлен природной исходной составляющей данной территории, т. е. спецификой почвообразующих пород. Повышенные

содержания Co, наряду с еще одним элементом – скандием - были отмечены во многих природных компонентах на территории Томской области другими авторами: в лишайниках, мхах, ряске (Межибор и др., 2014; Барановская, 2021), донных отложениях (Иванов, 2018), а так же в биологических объектах (волосах) (Барановская и др., 2011). Co и Sc входят в элементный состав железных руд находящихся на данной территории (Асочакова и др., 2010; Гринёв и др, 2010; Карепина и др, 2012; Мазуров и др, 2005; Рудмин и др, 2014), ильменит-цирконовых россыпей (Кропанин, 1997, 2001), углей Центральной Сибири (Арбузов, 2009, Арбузов, Рихванов, 2009).

Присутствие в геохимических рядах значительных показателей коэффициентов концентрации некоторых редкоземельных элементов может так же объясняться природной спецификой региона (рисунок 5.3). Так, на повышенные содержания отдельных лантаноидов указывают авторы, изучающие специфику подземных вод региона (Иванова и др., 2015), почв (Шайхиев и др., 2014, Агеева, 2022), а также других сред – ряски (Барановская, 2021), снегового покрова (Язиков и др., 2002; Шайхиев, 2015; Таловская, 2014).

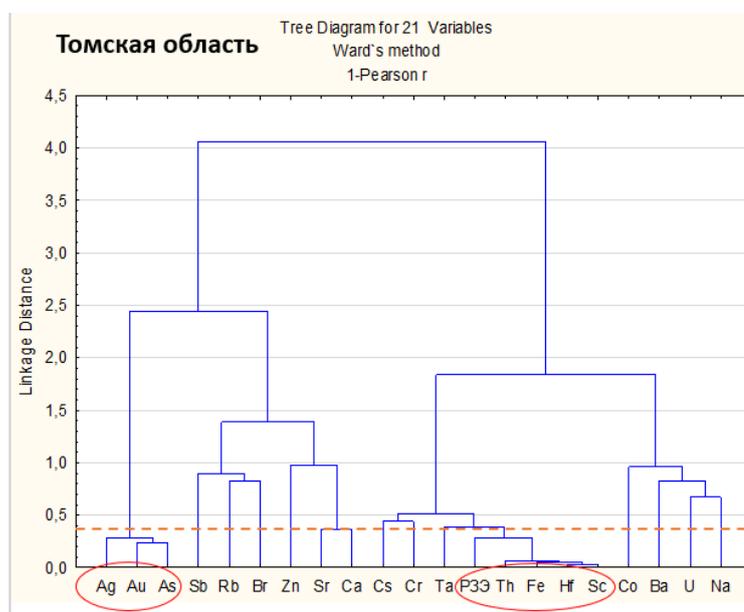


Рисунок 5.3 Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в золе листьев осины

*Примечание: уровень значимости  $r=0,37$  при  $p=0,05$ ,  $n=55$ .*

Объединение элементов в группы по наивысшим значениям коэффициентов ранговой корреляции в золе листьев осины по геохимическому спектру элементов, ярко показывает выделившиеся группы, образующие значимые ассоциации: 1) Ag-Au-As; 2) PЗЭ-Th-Fe-Hf-Sc.

Анализ корреляционных связей на двух территориях показал, на территории Томской области Fe и Sc образуют значимые связи и входят в большую группу элементов, где так же присутствуют и PЗЭ. В то же время на территории Кемеровской области Fe и Sc стоят особняком от группы PЗЭ. Связано скорее всего это с тем, что поведение Sc в зоне гипергенеза, обусловлено с одной стороны его близостью с редкими землями иттриевой группы, с другой – двухвалентному железу. Постоянная валентность скандия при развитии процессов выветривания эндогенных горных пород исключает его способность концентрироваться как в результате окислительных, так и восстановительных процессов (Щербина, 1960). В процессе гипергенеза намечаются два пути миграции этого элемента, которые зависят в основном от того, в каких минералах находится скандий в материнских породах. Как правило, при разрушении скандиеносного минерала происходит частичный или полный вынос скандия (Макаров, 2013). Скандий, присутствующий в виде изоморфной примеси в главных породообразующих минералах, подверженных в гипергенных условиях довольно значительному разрушению, освобождается и может быть перенесен и переотложен. В целом вверх по разрезу коры выветривания содержание скандия обычно возрастает. В этом же направлении увеличивается абсолютное содержание его в глинистой фракции. При выветривании скандий освобождается главным образом из железомagneзиальных минералов (особенно из пироксенов и амфиболов) и относительно активно сорбируется глинистыми минералами (монтмориллонитовой и каолинитовой группы) и гидроксидами железа. По этой причине скандий в экзогенных условиях способен мигрировать в сорбированном состоянии. Установлено слабое накопление скандия в фосфоритах, бокситах, каменных углях. В ландшафтах его миграция во

многим сходна с иттрием (Янин, 2007).

Высокое концентрирование золота, которое при нормировании к литературным показателям выходит на первый план, может объясняться спецификой территории. Так, нами, при реализации гранта РФФИ 19045-700001/19(2019-2022 г) (Пшеничкин и др., 2021) выявлены особенности руд и вмещающих пород Бакчарского рудного узла, заключающиеся в повсеместном присутствии благородных металлов в незначительных количествах, зато повышенными концентрациями золота, платины и палладия, которыми характеризуются плотные оолитовые гётит-гидрогетитовые руды и оолитовые рудные песчаники с галькой, где средние содержания элементов составляют 7,2-23,7 мг/т, в отличие от рыхлых пород и вмещающих песчаников.

Таким образом, анализ статистических параметров и показателей концентрирования химических элементов в листьях осины показал, что есть ряд элементов, характерно концентрирующихся в растении независимо от того, какой норматив мы используем. К таковым относятся медианные значения по выборке, среднее содержание элементов в «эталонном растении» (В. Markert, 1992), кларк ноосферы (Глазовская, 1982, 1988), среднее содержание (медиана) химических элементов в золе листьев рода тополь (Юсупов, 2022). Специфичный для изучаемой территории элемент – железо – не концентрируется в значимых количествах в листьях осины. В зоне пробной площадки СГД формируется контрастная аномалия в системе «почва-растение», что можно рекомендовать для использования в картировании техногенно – измененных территорий.

## **5.2 Эколого - геохимические особенности территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) на основании изучения элементного состава листьев осины**

Нами изучена общая биогеохимическая специфика ситуации на территории Таштагольского железорудного месторождения (юг Кемеровской



Примечание: содержания железа, кальция и натрия - в %, остальные - в мг/кг;  $X \pm A$  - среднее арифметическое  $\pm$  ошибка среднего,  $X_{\text{геом.}}$  - среднее геометрическое,  $M$  - медиана,  $S$  - стандартное отклонение,  $V$  - коэффициент вариации.

Разброс валового содержания Ca имеет коэффициент вариации менее 50%, что соответствует однородной выборке. Недифференцированная выборка, при коэффициенте вариации от 50% до 70%, наблюдается для содержания Cr, Co, Zn, Rb, Sr, La, Sm. Коэффициент вариации в пределах 70–100%, что соответствует сильно неоднородной выборке, отмечен для Na, As, Br, Sb, Cs, Ba, Ce, Nd, Eu, Tb, Yb, Th, U. Крайне неоднородная выборка (коэффициент вариации более 100%) характерна для, Sc, Fe, Ag, Lu, Hf, Ta, Au. Полученные данные свидетельствуют о наличии специфики, отличающей данную территорию от таковой в Томской области. Это обусловлено тем, что для Кемеровской области характерна менее выраженная мощность почвенного горизонта.

Для наглядности представлена диаграмма размаха медианы и разброса минимума и максимума содержания элементов в листьях осины отображена на рисунке 5.4.

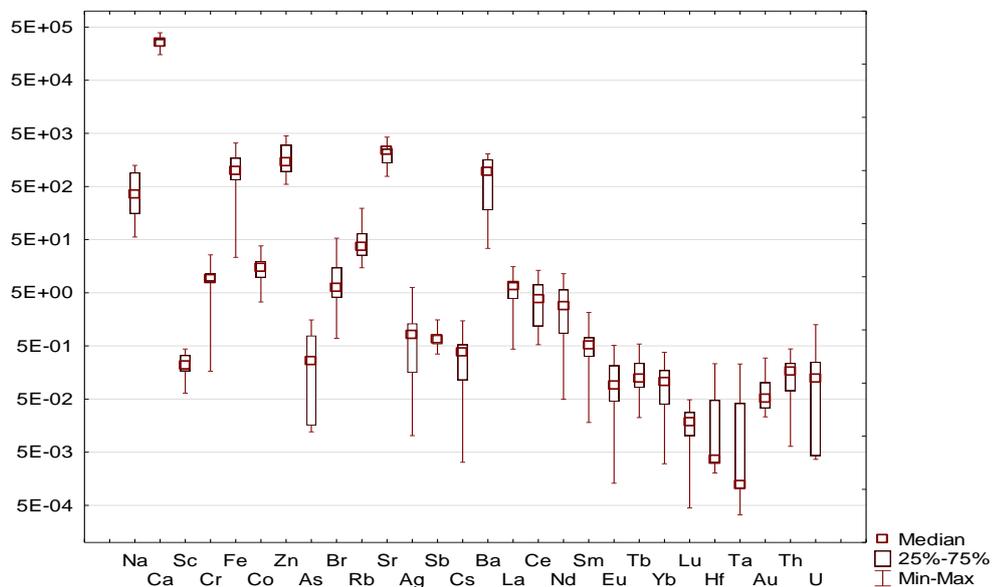


Рисунок 5.4 Диаграмма размаха содержания химических элементов в мг/кг в золе листьев осины на территории Кемеровской области

Сравнение содержания химических элементов в сухом веществе в листьях осины со средним геометрическим содержанием химических

элементов в сухом веществе растений (Markert, 1992) выявило, что происходит концентрирование следующих элементов Та (в 14 раз); Со (в 7,5 раз); Ау (в 6 раз); Тн (в 5 раз); Zn ( в 4раза); Sc, Sr (в 3,5 раза); La, Са ( в 3 раза); U (в 2,5 раза); Tb, Ва, Fe, Eu, Nd (в 2 раза); Sm, Се (в 1,5 раза). (таблица 5.5).

Таблица 5.5 Содержание химических элементов в сухом веществе листьев осины на территории Кемеровской области (по данным ИНАА), мг/кг

	Na, %	Ca, %	Sc	Cr	Fe, %	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs
Среднее геометрическое содержание х.э. в листьях осины Кемеровская область, мг/кг	0,008	<b>2,7</b>	<b>0,07</b>	1,2	<b>0,03</b>	<b>1,5</b>	<b>185</b>	0,1	0,9	5,2	<b>165</b>	0,11	0,05	0,03
Содержание х.э. в сухом веществе растений (В. Markert, 1992), ppm	0,015	1	0,02	1,5	0,015	0,2	50	0,1	4	50	50	0,2	0,1	0,2
	<b>Va</b>	<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Tb</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>	<b>Hf</b>	<b>Ta</b>	<b>Au</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
Среднее геометрическое содержание х.э. в листьях осины Кемеровская область, мг/кг	<b>77</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,06</b>	<b>0,015</b>	<b>0,016</b>	0,02	0,003	0,02	<b>0,014</b>	<b>0,006</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>
Содержание х.э. в сухом веществе растений (В. Markert, 1992), ppm	40	0,2	0,5	0,2	0,04	0,008	0,008	0,02	0,003	0,05	0,001	0,001	0,005	0,01

Примечание: шрифтом выделены элементы с  $K_k > 1$ .

Нормирование содержаний химических элементов в листьях осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) к «эталонному растению» по Markert (1992), ), кларка ноосферы (Глазовская, 1982,1988), среднего содержания (медиана) химических элементов в золе листьев рода тополь (Юсупов, 2022), а также относительно медианных содержаний элементов по всей выборки (N=109) позволило выявить специфично накапливающиеся элементы на данной территории. (таблица 5.6)

Таблица 5.6 Геохимические ряды химических элементов в сухом веществе листьев осины обыкновенной на территории Кемеровской области

<i>Кларк</i>	<i>Геохимический ряд химических элементов</i>
Содержание химических элементов в сухом веществе «эталонного растения» (В. Markert, 1992)	<b>Ta<sub>14,3</sub>-Co<sub>7,5</sub>-Au<sub>5,8</sub>-Th<sub>5,4</sub>-Zn<sub>3,7</sub>-Sc<sub>3,5</sub>-Sr<sub>3,3</sub>-La<sub>2,9</sub>-Ca<sub>2,7</sub>-U<sub>2,5</sub>-Tb<sub>1,9</sub>=Ba=Fe=Eu-Nd<sub>1,7</sub>-Sm<sub>1,6</sub>-Ce<sub>1,2</sub>-Yb<sub>0,9</sub>-Cr<sub>0,8</sub>-Ag-Sb<sub>0,5</sub>=Na-Hf<sub>0,4</sub>-Br<sub>0,2</sub>=Cs-Rb<sub>0,1</sub></b>
Кларк ноосферы (Глазовская М.А., 1982,1988)	<b>Au<sub>87</sub>-Zn<sub>43</sub>-Ba<sub>23</sub>-Ag<sub>22</sub>-Ca<sub>18</sub>-Sr<sub>7</sub>-Sb<sub>1,9</sub>-Co<sub>1,6</sub>-Rb<sub>0,6</sub>-La<sub>0,5</sub>-Br<sub>0,4</sub>=As-Tb<sub>0,3</sub>-Cr<sub>0,2</sub>=Nd=Ce=Sm-Fe<sub>0,1</sub>=U=Sc=Yb=Ta=Hf=Lu=Cs=Na-Th<sub>0,04</sub>-Eu<sub>0,03</sub></b>
Среднее содержание (медиана) химических элементов в золе листьев рода тополь (Юсупов Д. В., 2022)	<b>Au<sub>20</sub>-Ta<sub>18</sub>-Ag<sub>7,4</sub>-Tb<sub>5,6</sub>-Ba<sub>4,2</sub>-La<sub>2,9</sub>-Nd<sub>2,7</sub>=Eu-Ca<sub>2,1</sub>-Co<sub>2</sub>-U<sub>1,9</sub>-Sc<sub>1,8</sub>=Sr-Zn<sub>1,7</sub>-Fe<sub>1,6</sub>=Cs=Yb=Rb=Ce=Lu-Cr<sub>1,5</sub>=As=Hf-Sb<sub>1,3</sub>-Sm<sub>1,2</sub>-Na<sub>1,1</sub>-Th<sub>0,8</sub>-Br<sub>0,4</sub></b>
Среднее содержание (медиана) химических элементов в золе листьев осины	<b>Ta<sub>9,1</sub>-Hf<sub>5,9</sub>-U<sub>4,7</sub>-Sc<sub>3,9</sub>-Fe<sub>3,3</sub>=As-Yb<sub>3,1</sub>-Sb<sub>3</sub>=Eu=Nd-Ag<sub>2,8</sub>-La<sub>2,7</sub>-Th<sub>2,6</sub>-Tb<sub>2,4</sub>-Ba<sub>2,3</sub>-Ce<sub>2,2</sub>=Cr-Lu<sub>2,1</sub>-Na<sub>2</sub>=Sr-Cs<sub>1,8</sub>-Ca<sub>1,6</sub>-Co<sub>1,4</sub>-Rb<sub>1,3</sub>-Sm<sub>1,2</sub>-Zn<sub>1</sub>-Br<sub>0,6</sub>-Au<sub>0,5</sub></b>

Анализ таблицы позволил сделать вывод о том, что имеют место как элементы, характерные для территории распространения железорудных формаций в Томской области, так и специфичные элементы, которые характерны для листьев осины территории месторождения магнетитовых руд Кемеровской области. Так, для всех изученных территорий общим элементом, концентрирующимся в составе листьев осины, является кобальт. На территории Кемеровской области он выходит на первый план в геохимическом ряду, построенному относительно литературных данных, что по всей видимости отражает геохимическую особенность габбровой и сиенитовой групп пород на Таштагольском железорудном месторождении. По данным (Иванова, 1966) для изучаемой территории породы сходны по присутствию одних и тех же элементов (Ba, Be, V, Ga, Co, Mn, Cu, Ni, Sc, Sr, Ti, Pb), кроме Zn и Zr, которые выделились только в сиенитах. Так же, в обеих группах автор отметил повышенное содержание таких элементов как Ba, V, Mn, Ti, Sr. Для сиенитов же выявлено повышенное содержание относительно кларкового Co и Ni. (Иванова, 1966).

Так, кобальт не имеет собственных породообразующих минералов, а входит обычно в состав минералов серы, железа, селена и мышьяка. Распределение данного элемента в почвенных слоях зависит от распределения в профилях почв физической глины, илистых фракций, оксидов железа и органического вещества. По данным (Ковда, 1985) почвообразующие породы (основные магматические породы), которые находятся на исследуемой территории, обогащены такими элементами как Ni, Co, Cu. Накопление такого элемента как Zn в листьях осины по сравнению с другими породами деревьев, отмечено нами выше (Ковалевский, 1984). Повышенные содержания Zn наблюдаются в точках находящихся в пределах «воронки» в непосредственной близости с разгрузочной площадкой, где по всей видимости наблюдается интенсивное пыление и работа большегрузного транспорта (рисунок 5.5) Следует отметить, что если в листьях осины на территории Томской области цинк в геохимических рядах стоит на первых позициях, то на данной территории для этого элемента не характерно интенсивное накопление. Хотя в рядах он стоит в позиции больше или около единицы, по-видимому, за счет свойств растения к его концентрированию.

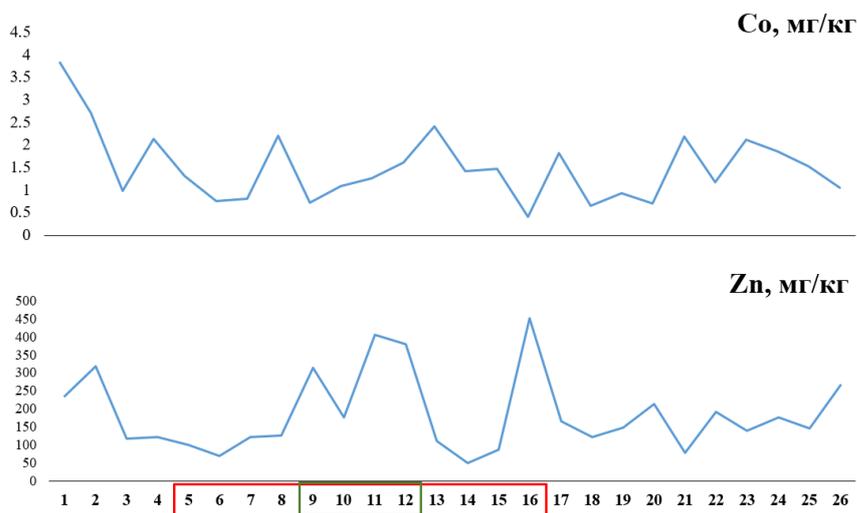


Рисунок 5.5 Кривые распределения Co и Zn в золе листьев осины на территории Кемеровской области

*Примечание: СНТ Гидродобытчик (1), Мундыбаш (2), Темиртау (3), Каз(4), Таштагол (5-16), территория Шорского национального парка (17-26). Красным прямоугольником выделены точки вдоль "воронки" - провал грунта, образовавшийся в результате обрушения старых туннелей шахты. Зелёным выделены точки рядом с разгрузочной площадкой.*

Золото, выходящее на второе место в геохимическом ряду по данным (Пшеничкин и др., 2021) характеризует руды с повышенным содержанием сульфидов (пирит), магнетит, исследованных на Казском железорудном месторождении, которое относится к Тельбесскому рудному району Горной Шории и характеризуется железоносной специализацией и особой гаммой элементов-примесей : В, Au, Co, Zn, Mn, Mo, Pb, As, F (Синяков, 1975). Для территории Томской области Au является специфичным элементов и находится в геохимических рядах на первом месте относительно всех использованных нами нормативов.

Железо как специфичный элемент для данных территорий, находится в середине ряда с  $K_k > 1$ , но значение его больше в Кемеровской области  $Fe = 1,6$ . На территории Кемеровской области Fe в почве также преобладает в трехвалентной форме (рисунок 5.6). Из диаграммы видно, что с наибольшим содержанием Fe выделяется точка, находящаяся рядом с разгрузочной площадкой, т.е. поступление железа происходит в следствии эолового привноса в листья осины, и не наблюдается поступления с почвенными растворами, по-видимому, действуют те же механизмы что и на территории Томской области.

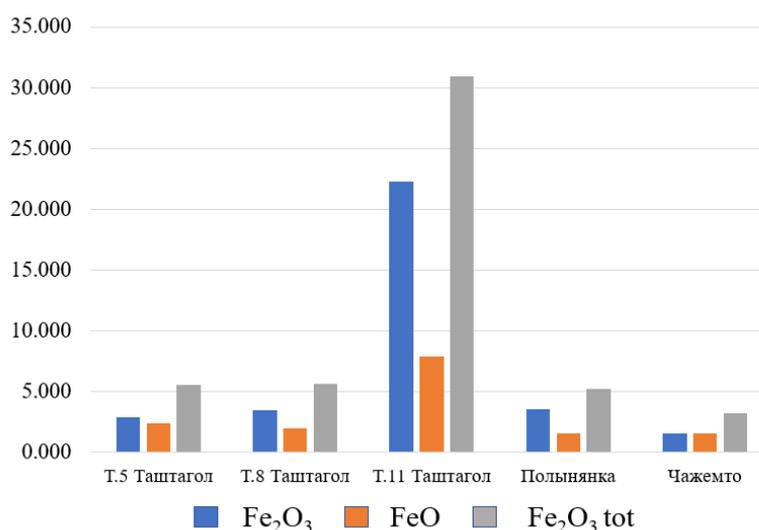


Рисунок 5.6 Содержание Fe в пробах почв в отдельных точках на территориях Томской и Кемеровской областей, мас. %

Таким образом состав листьев осины, отобранных на территории Кемеровской области, имеет свою специфику, заключающуюся в концентрировании характерной группы элементов для данной территории. Особенно ярко показали это ряды про нормированные к медианным значениями и условному фону.

### **5.3. Сравнительная характеристика биогеохимических показателей территории Томской и Кемеровской областей**

Были выделены геохимические аномалии по величине порога аномальности ( $C_A$ ) для исследованных территорий. Анализ полученных данных показал, что общими элементами характеризующимися высокими концентрациями для двух территория, 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 и U – 0,016- 1,6 мг/кг . Томская область характеризуется значительным повышением 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 (Барановская, 2011; Барановская и др., 2016). Th входящий в данную группу отмечен в торфах как элемент, имеющий тесную связь с повышенной пылевой нагрузкой природного или техногенного характера (Межибор, 2009). (рисунок 5.7). В листьях осины на территории юга Кемеровской области выделилась следующая группа элементов - Ca– 15- 55 %; Cr– 0,5-39 мг/кг; Sr– 778- 4249 мг/кг; Sb– 0,001- 1,46 мг/кг; Ва– 34-2059 мг/кг; Та– 0,001-1,6 мг/кг. (рисунок 5.7). Присутствие РЗЭ в Горной Шории отмечено в исследованиях Гринева,2003 в Сеглебирском массиве на границе Горной Шории и Горного Алтая (габброидах, долеритах и вмещающих базальтах), также было отмечено 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 (Арбузов, 2005; 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 месторождении.

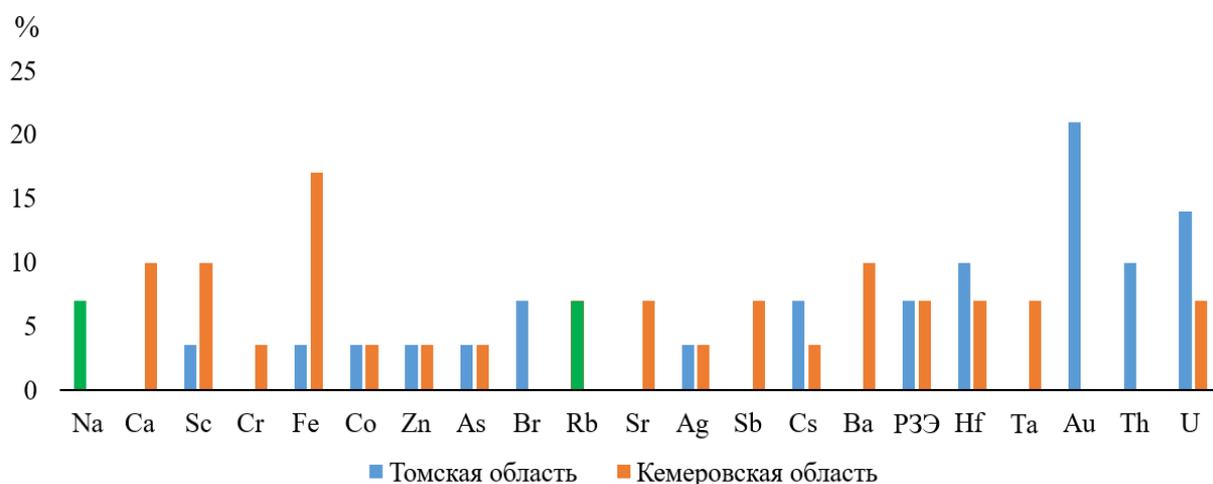


Рисунок 5.7 Частота встречаемости аномалий в золе листьев осины, %

Элементы Na и Rb выделились, так же как аномальные в Томской области, но они имеют незначимое различие (таблица 5.7).

Таблица 5.7 Оценка значимости различий выборочных совокупностей в золе листьев осины выполнена с использованием критерия Краскел-Уоллиса.

Значимость различий	Н-критерий Краскела-Уоллиса				
	$p \geq 0,100$	$0,100 > p \geq 0,050$	$0,050 > p \geq 0,005$	$0,005 > p \geq 0,0005$	$0,0005 > p$
Незначимые	Na, Hf, Cs, Zn, Rb, Ag				
Слабо значимые		Fe, As Ta, Nd			
Статистически значимые			Co, Lu		
Сильно значимые				Sb, Sc, La Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Ba, Th, U	
Высоко значимые					Au, Br, Ca, Cr, Sr,

Коэффициенты концентрации элементов в листьях осины восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) и центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область)

демонстрируют выделившиеся геохимические аномалии относительно медианы по выборке (рисунок 5.8).

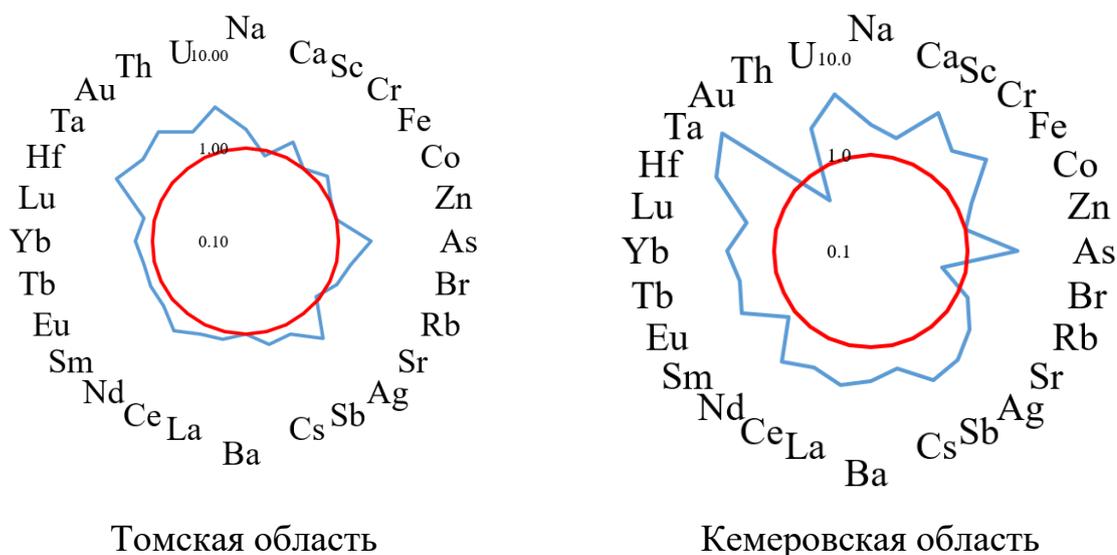


Рисунок 5.8 Содержания элементов относительно медианы по выборке (N=179)

По значению коэффициента вариации ртути (24–25%) в листьях осины определяется однородная выборка. (таблица 5.8)

Таблица 5.8 Статистические параметры распределения ртути в листьях осины на территории, нг/г

	Среднее ± стандартная ошибка	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Томская область	21,6 ± 0,9	21	12	34	5,2	25%
Кемеровская область	14,4±0,9	14	10	22	3,5	24%

Среднее содержание ртути в пробах листьев осины, отобранных на исследуемой территории, составляет 21,6 нг/г, что практически совпадает с медианой и свидетельствует об отсутствии явных аномальных концентраций и значительном разбросе значений. Рассчитанное среднее значение ртути ниже среднего содержания ртути в листьях тополя в городах Сибири и Дальнего Востока - 25 нг/г (Турсуналиева, 2017). Но существенно выше среднего содержания ртути в сухой фитомассе континентов (Добровольский, 2008),

которое составляет 0,012 мг/кг (12 нг/г) (рисунок 5.9).

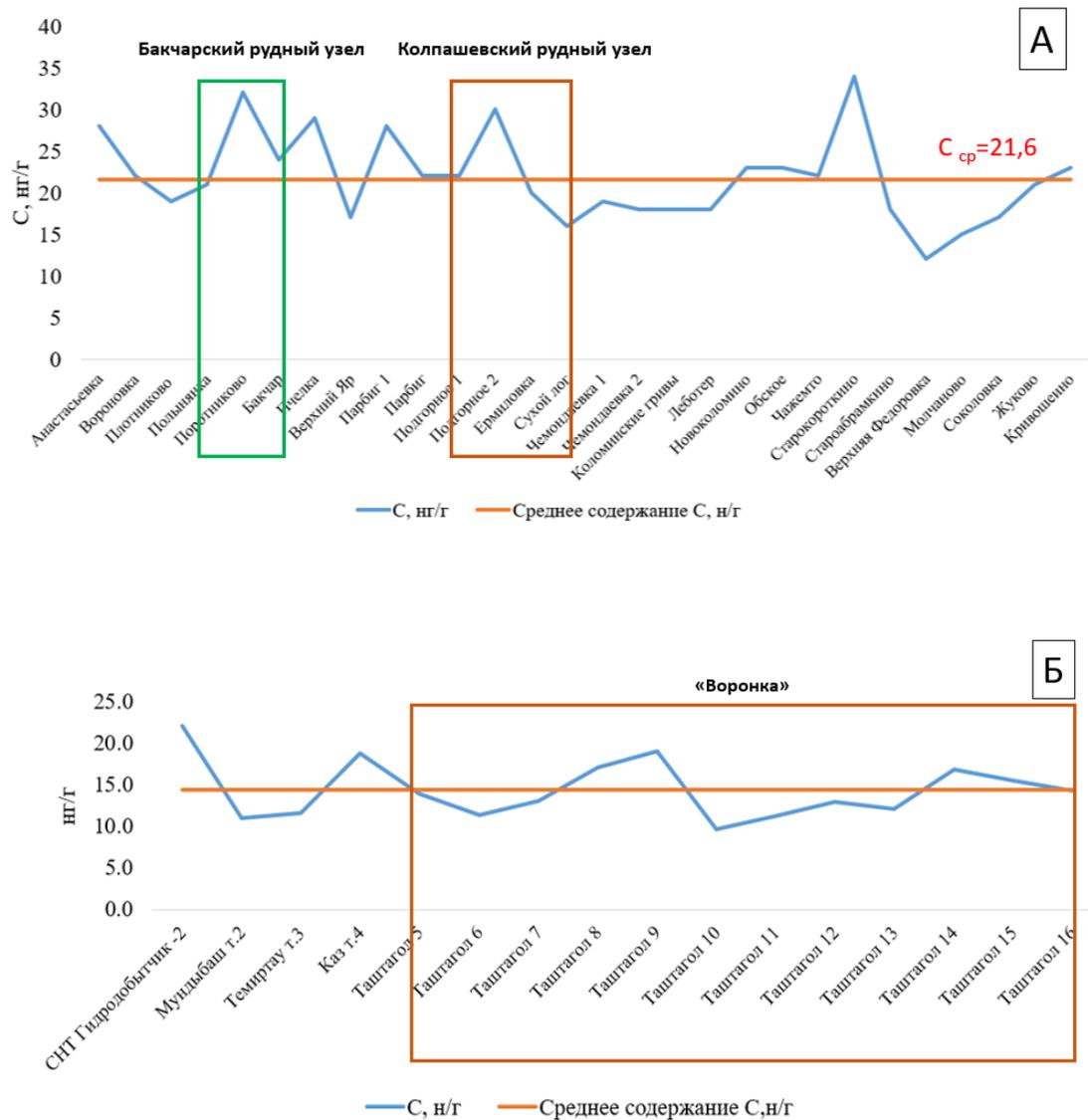
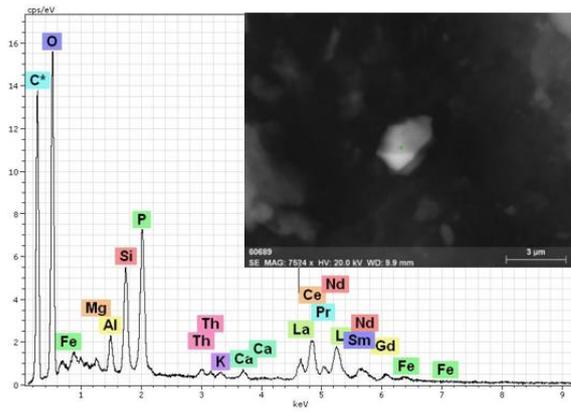
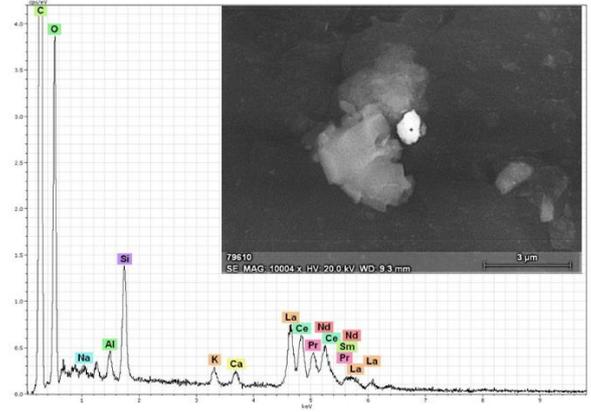


Рисунок 5.9 Содержание ртути в листьях осины: А-Томская область; Б- Кемеровская область ("воронки" - провалы грунта, образовавшиеся в результате обрушения старых туннелей шахты)

По данным электронной микроскопии на поверхности листьев осины на двух исследованных территориях установлено значительное количество микроминеральных фаз РЗЭ, что соответствует повышенным значениям группы РЗЭ в листьях осины по данным ИНАА (рисунок 5.10).



А

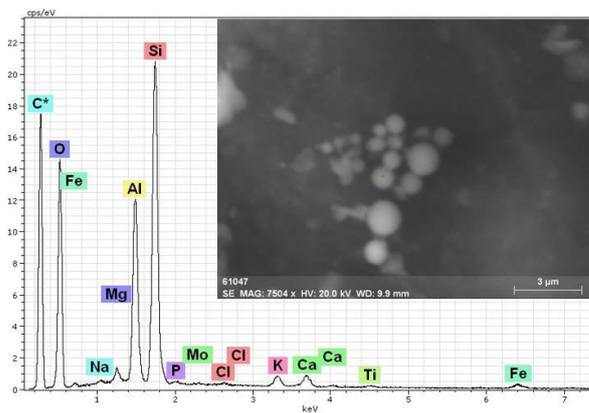


Б

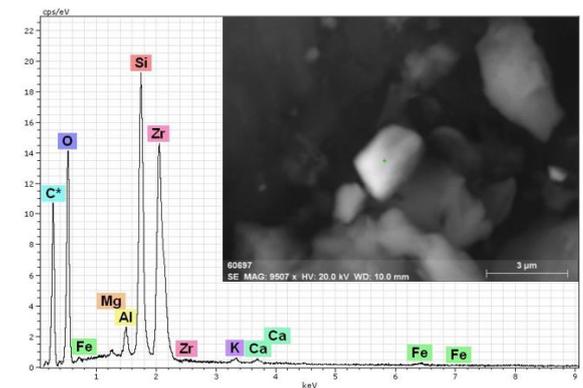
Рисунок 5.10 Частицы на поверхности листа осины и его энергодисперсионный спектр: А- монацит (н.п. Пчелка, ТО); Б- редкоземельный карбонат (н.п. Таштагол)

На поверхности листовой пластины обнаружена группа алюмосиликатов, скорее всего синтетического техногенного происхождения (рисунок 5.11 А, Г). Так же встречаются железосодержащие частицы и циркония (рисунок 5.11 Б, В).

А



Б



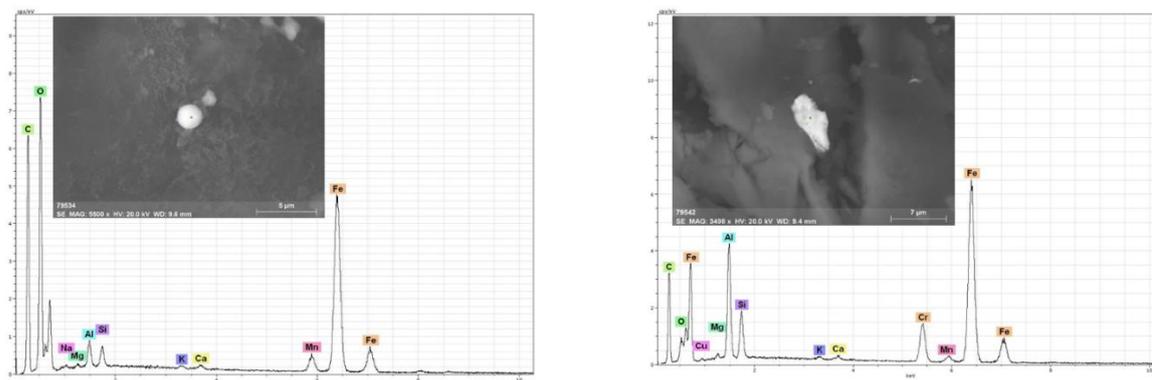


Рисунок 5.11 Результат электронно-микроскопических исследований минеральных частиц, найденных на поверхности листа осины

Примечание: А) алюмосиликатные сферулы, н.п. Пчелка (ТО); Б) циркон н.п. Пчелка (ТО); В) железосодержащая сферула, н.п. Таштагол; Г) техногенная частица Al, Cr, Fe содержащая (н.п. Таштагол).

На основании сравнения полученных результатов по содержанию элементов в листьях осины с имеющимися нормативами и литературными данными нами отмечено, что на двух исследованных территориях, представленных железорудными объектами, но имеющие разное геологическое строение, почвообразующие породы и почвенный покров выделились как общие, так и специфичные элементы имеющие повышенные содержания:

- 1) на территории Томской и Кемеровской областей в пределах распространения железорудных месторождений определена общая ассоциация химических элементов для листьев Осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) характеризующаяся концентрированием Zn, Fe, Hf, PЗЭ, As, Sc, Ag, и U.
- 2) на территории восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) повышенным содержанием выделились следующие химические элементы: Br, Au и Th.

- 3) на территории центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) повышенным содержанием выделились следующие химические элементы: Ca, Cr, Sr, Sb, Ba, Ta.

#### 5.4 Сравнительная характеристика элементного состава почв на территории расположения железорудных объектов Томской и Кемеровской областей

Диапазоны содержаний 28 элементов, полученных методом ИНАА представлены в таблице 5.9. Анализ коэффициентов вариации показал, что на территории Томской области выборка более однородная, значения лежат в пределах от 7% до 46%, наибольшие коэффициенты вариации отмечаются для Br- 60% и Au – 90%. На территории Кемеровской области – от 23% до 104%.

Таблица 5.9 Статистические параметры распределения 28 химических элементов в почве по данным ИНАА, мг/кг

Элемент	Томская область		Кемеровская область		Кларк х.э. верхней части континентальной земной коры (сборная) (Касимов Н.С. и др., 2015)	Кларк х.э. верхней части континентальной земной коры (Григорьев Н. А., 2009)	ПДК для почв, мг/кг (СанПиН 1.2.36 85-21)
	Среднее ± стандартное отклонение (минимум-максимум)	V, %	Среднее ± стандартное отклонение (минимум-максимум)	V, %			
Na, %	1,05±0,04 (0,5-1,5)	19	1,02±0,1 (0,14-1,5)	35	2,43	2,07	н.д.
Ca, %	1,9±0,04 (1,4-2,4)	11	4,3±0,76 (1,1-11)	71	2,5	3,89	н.д.
Sc	13,2±0,4 (6,1-16)	16	14,6±1,7 (4,1-29)	45	22	15,5	н.д.
Cr	65±4,2 (20-125)	42	61±5,7 (14-87)	41	92	92,4	н.д.
Fe, %	3,4±0,11 (1,9-4,5)	17	8±2,1 (0,5-2,7)	10 4	3,5	4,06	н.д.
Co	18±0,8 (10-29)	23	31±6,2 (12-97)	79	15	17	н.д.

Продолжение таблицы 5.9

Zn	46±4 (1,5-93)	46	148±30 (39-412)	80	67	75	н.д.
As	6,3±0,36 (2,6-12)	31	9±1,8 (2,5-28)	68	5,6	5,6	2
Br	4,2±0,5 (1,3-11)	60	2,4±0,5 (0,6-8)	87	2,5	11	н.д.
Rb	85±3,4 (50-125)	21	69±9 (3,3-151)	52	90	98	н.д.
Sr	н.п.о.	-	н.п.о.	-	270	270	н.д.
Ag	н.п.о.	-	н.п.о.	-	0,053	н.д.	н.д.
Sb	0,5±0,03 (0,2-0,9)	26	1,8±0,4 (0,7-5,8)	80	0,75	0,81	4,5
Cs	4,8±0,3 (1,9-7,4)	29	3,3±0,5 (0,1-6)	64	4,9	5,5	н.д.
Ba	372±10 (273-478)	15	477±34 (219-817)	29	425	510	н.д.
La	29±0,8 (16-37)	15	36±4,5 (11-80)	51	29	32	н.д.
Ce	66±1,9 (38-88)	15	65±6,7 (24-131)	41	60	63	н.д.
Nd	21±1,58 (0,6-44)	39	21±4,7 (0,7-69)	90	28	29	н.д.
Sm	6,7±0,2 (4,3-8,1)	13	7,4±1,1 (1,8-19)	55	6	5,7	н.д.
Eu	0,9±0,05 (0,5-1,6)	28	2,4±0,5 (0,3-8)	79	1,2	1,3	н.д.
Tb	1,04±0,07 (0,4-1,8)	37	0,83±0,11 (0,03-1,7)	55	0,9	0,89	н.д.
Yb	2,9±0,06 (1,2-2,3)	11	2,2±0,12 (0,9-2,9)	23	0,3	2,5	н.д.
Lu	0,3±0,01 (0,2-0,4)	13	0,3±0,01 (0,13-0,43)	23	0,5	0,48	н.д.
Hf	8,3±0,3 (5,2-10)	16	4,9±0,6 (0,6-7,9)	48	3	4,5	н.д.
Ta	1,04±0,1 (0,11-1,7)	41	0,9±0,2 (0,01-1,8)	75	2	1,4	н.д.
Au	0,01±0,001 (0,001-0,02)	90	0,01±0,001 (0,001-0,02)	64	0,004	0,004	н.д.
Th	9,7±0,31 (4,5-12)	17	6,6±0,4 (2,2-9,6)	26	9,6	9,1	н.д.
U	2,4±0,08 (1,6-3,7)	17	4,3±0,9 (1,4-14)	87	2,7	2,5	н.д.

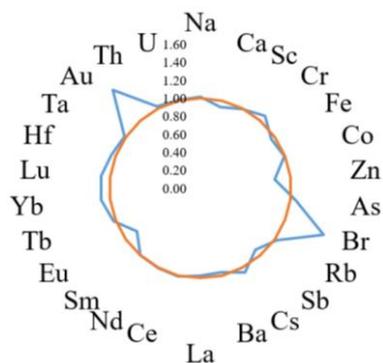
Примечание:  $V$  – коэффициент вариации; н.д. – нет данных; н.п.о. – ниже предела обнаружения.

Для рассматриваемых территорий мы выбрали единую норму фоновых значений химических элементов, рассмотрим коэффициенты концентраций

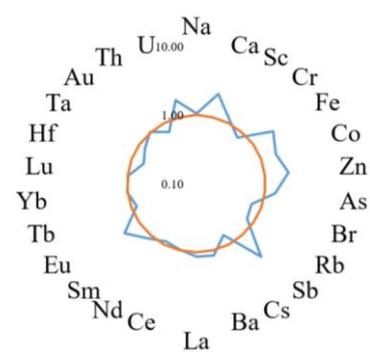
химических элементов по отношению к значениям кларков верхней части континентальной земной коры предложенных современным ученым Касимовым (2015), кларк верхней части континентальной земной коры по Григорьеву, 2009 и относительно медианы по выборке (N= 68). Анализ полученных результатов показал, что выделилась общая для двух территорий группа элементов с  $K_k > 1$  (Au, As, Co, Sm), при этом территория Кемеровской области отличается повышенным содержанием трех элементов Eu, Sb, Zn, Ca и U. (таблица 5.10, рисунок 5.12).

Таблица 5.10 Геохимические ряды химических элементов в почве восточной части Колпашевской металлогенической зоны (Томская область) и центральной части Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область) относительно литературных данных

Кларки	Томская область	Кемеровская область
Кларк х.э. верхней части континентальной земной коры (Григорьев, 2009)	<b>Au</b> <sub>2,4</sub> - <b>Hf</b> <sub>1,8</sub> - <b>As</b> <sub>1,2</sub> = <b>Tb</b> - <b>Co</b> <sub>1,1</sub> = <b>Sm</b> = <b>Ce</b> = <b>Th</b> - <b>U</b> <sub>0,9</sub> = <b>Yb</b> = <b>La</b> = <b>Rb</b> = <b>Cs</b> - <b>Sc</b> <sub>0,8</sub> = <b>Fe</b> = <b>Nd</b> = <b>Cr</b> = <b>Eu</b> = <b>Ta</b> = <b>Sb</b> = <b>Ba</b> - <b>Lu</b> <sub>0,7</sub> = <b>Zn</b> - <b>Na</b> <sub>0,5</sub> = <b>Ca</b> - <b>Br</b> <sub>0,4</sub>	<b>Sb</b> <sub>2,2</sub> - <b>Fe</b> <sub>2</sub> - <b>Zn</b> <sub>2</sub> - <b>Co</b> <sub>1,8</sub> - <b>Eu</b> <sub>1,8</sub> - <b>Au</b> <sub>1,7</sub> - <b>U</b> <sub>1,7</sub> - <b>As</b> <sub>1,6</sub> - <b>Sm</b> <sub>1,3</sub> - <b>Ca</b> <sub>1,1</sub> = <b>La</b> = <b>Hf</b> - <b>Ce</b> <sub>0,9</sub> = <b>Sc</b> = <b>Tb</b> = <b>Ba</b> = <b>Yb</b> - <b>Nd</b> <sub>0,7</sub> = <b>Th</b> = <b>Rb</b> = <b>Lu</b> - <b>Ta</b> <sub>0,6</sub> = <b>Cr</b> = <b>Cs</b> - <b>Na</b> <sub>0,5</sub> - <b>Br</b> <sub>0,2</sub>
Кларки	Томская область	Кемеровская область
Кларк х.э. верхней части континентальной земной коры (сборная) (Касимов и др., 2015)	<b>Yb</b> <sub>7,9</sub> - <b>Hf</b> <sub>2,7</sub> - <b>Au</b> <sub>2,4</sub> - <b>Br</b> <sub>1,9</sub> - <b>Co</b> <sub>1,2</sub> = <b>As</b> = <b>Tb</b> - <b>Ce</b> <sub>1,1</sub> = <b>Sm</b> - <b>La</b> <sub>1</sub> = <b>Cs</b> = <b>Th</b> = <b>Rb</b> = <b>Fe</b> - <b>Ba</b> <sub>0,9</sub> = <b>U</b> = <b>Eu</b> - <b>Nd</b> - <b>Sb</b> <sub>0,8</sub> = <b>Zn</b> = <b>Cr</b> - <b>Lu</b> <sub>0,7</sub> = <b>Ca</b> - <b>Sc</b> <sub>0,6</sub> - <b>Ta</b> <sub>0,5</sub> - <b>Na</b> <sub>0,4</sub>	<b>Yb</b> <sub>7,3</sub> - <b>Sb</b> <sub>2,4</sub> - <b>Fe</b> <sub>2,3</sub> - <b>Zn</b> <sub>2,2</sub> - <b>Co</b> <sub>2,1</sub> - <b>Eu</b> <sub>1,9</sub> - <b>Hf</b> <sub>1,7</sub> = <b>Au</b> - <b>Ca</b> <sub>1,6</sub> = <b>As</b> = <b>U</b> - <b>La</b> <sub>1,2</sub> = <b>Sm</b> - <b>Ba</b> <sub>1,1</sub> = <b>Ce</b> - <b>Br</b> <sub>0,9</sub> = <b>Tb</b> - <b>Rb</b> <sub>0,8</sub> = <b>Nd</b> - <b>Th</b> <sub>0,7</sub> = <b>Cs</b> = <b>Sc</b> - <b>Lu</b> <sub>0,6</sub> = <b>Cr</b> - <b>Ta</b> <sub>0,4</sub> = <b>Na</b>
Среднее содержание химических элементов в почве (медиана) (N=68)	<b>Au</b> <sub>1,5</sub> = <b>Br</b> - <b>Lu</b> <sub>1,1</sub> = <b>Yb</b> = <b>Cr</b> = <b>Cs</b> = <b>As</b> - <b>Hf</b> <sub>1</sub> = <b>Tb</b> = <b>Th</b> = <b>Rb</b> = <b>Ta</b> = <b>Na</b> = <b>Ce</b> = <b>U</b> = <b>Nd</b> = <b>Co</b> = <b>Sm</b> = <b>Sc</b> = <b>La</b> = <b>Ba</b> = <b>Fe</b> - <b>Ca</b> <sub>0,9</sub> = <b>Sb</b> = <b>Eu</b> - <b>Zn</b> <sub>0,8</sub>	<b>Sb</b> <sub>2,6</sub> - <b>Fe</b> <sub>2,2</sub> = <b>Zn</b> = <b>Ca</b> - <b>Eu</b> <sub>1,8</sub> = <b>U</b> - <b>Co</b> <sub>1,7</sub> - <b>As</b> <sub>1,4</sub> - <b>Ba</b> <sub>1,2</sub> = <b>La</b> - <b>Sm</b> <sub>1,1</sub> = <b>Sc</b> - <b>Na</b> <sub>1</sub> = <b>Au</b> = <b>Yb</b> = <b>Ce</b> = <b>Lu</b> - <b>Nd</b> <sub>0,9</sub> - <b>Tb</b> <sub>0,8</sub> = <b>Ta</b> = <b>Cr</b> = <b>Rb</b> - <b>Br</b> <sub>0,7</sub> = <b>Cs</b> = <b>Th</b> = <b>Hf</b>



Томская область



Кемеровская область

Рисунок 5.12 Содержание элементов в почве относительно медианы по выборке (N=70)

Анализ корреляционных связей химических элементов в составе почв (рисунок 5.13 А, Б) показал, что на территории Томской области значимые связи образуются с группой РЗЭ, (критическое значение 0,488 для 42 проб при уровне ошибки  $p=0,05$ ). На территории Кемеровской области выделяется группа со значимыми корреляционными связями, в которую входят РЗЭ (критическое значение 0,592 для 26 проб при уровне ошибки  $p=0,05$ ).

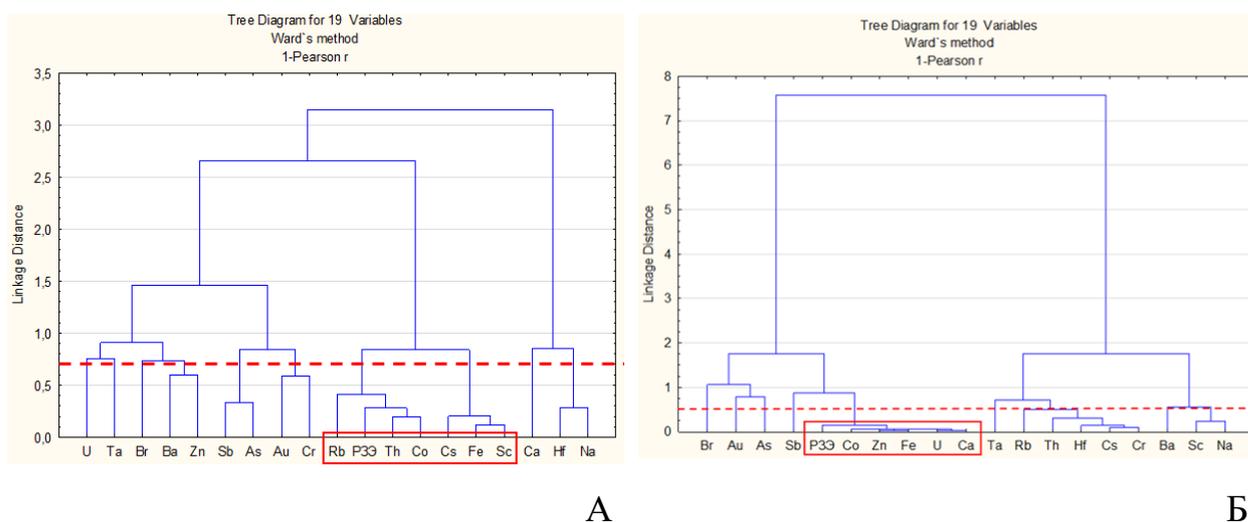


Рисунок 5.13 Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в почве на территории: А) Томская область (1-Pearson  $r(0,05)=0,5$ ; 42 проб), Б) Кемеровская область (1-Pearson  $r(0,05)=0,5$ ; 26 проб)

Для уточнения и подтверждения корреляционных взаимосвязей был проведен факторный анализ, основной вклад в общую дисперсию выделившихся ассоциаций элементов Ca, Fe, Co, РЗЭ внесли первый (30%) и второй (14%) факторы, у которых коэффициент факторных нагрузок с положительным знаком и Hf с отрицательным знаком. (таблица 5.11)

Таблица 5.11 Матрица факторных нагрузок КК химических элементов в почве (Вращение Varimax, собственное значение фактора  $\geq 1$ )

Элемент	Факторные нагрузки (выделены нагрузки $\geq 0,5$ )							
	ГК-1		ГК-2		ГК-3		ГК-4	
	ТО	КО	ТО	КО	ТО	КО	ТО	КО
Na	-0.327	-0.210	0.373	0.225	<b>-0.766</b>	<b>-0.879</b>	0.106	0.027
Ca	<b>0.732</b>	<b>0.959</b>	0.406	-0.173	-0.196	0.089	-0.104	0.021
Sc	<b>0.938</b>	-0.210	-0.161	0.096	0.043	<b>-0.856</b>	0.062	-0.070
Cr	<b>-0.534</b>	-0.346	-0.424	<b>0.822</b>	-0.087	-0.399	-0.060	0.000

Продолжение таблицы 5.11

Элемент	Факторные нагрузки (выделены нагрузки $\geq 0,5$ )							
	ГК-1		ГК-2		ГК-3		ГК-4	
	ТО	КО	ТО	КО	ТО	КО	ТО	КО
Fe	<b>0.824</b>	<b>0.936</b>	-0.353	-0.281	0.110	0.060	0.031	-0.017
Co	<b>0.793</b>	<b>0.943</b>	0.176	-0.226	0.321	0.089	0.100	-0.015
Zn	0.225	<b>0.908</b>	-0.038	-0.363	<b>0.528</b>	0.103	0.109	0.001
As	0.393	0.488	<b>-0.588</b>	0.205	0.058	-0.146	-0.091	<b>0.506</b>
Br	0.080	<b>0.512</b>	0.293	<b>0.541</b>	<b>0.571</b>	0.132	0.104	-0.434
Rb	<b>0.658</b>	0.005	0.062	<b>0.740</b>	0.269	-0.445	0.218	-0.172
Sb	0.316	0.429	<b>-0.735</b>	<b>-0.724</b>	0.024	-0.370	-0.415	-0.090
Cs	<b>0.751</b>	-0.483	-0.198	<b>0.795</b>	0.334	-0.169	0.202	0.145
Ba	0.329	-0.344	0.325	-0.098	<b>0.664</b>	<b>-0.630</b>	-0.153	0.040
Hf	0.121	<b>-0.604</b>	<b>0.537</b>	<b>0.677</b>	<b>-0.523</b>	-0.215	-0.167	0.176
Ta	0.233	<b>-0.612</b>	0.029	0.439	0.064	0.169	<b>0.647</b>	0.140
Au	-0.148	-0.002	-0.323	0.114	0.185	0.093	<b>-0.646</b>	<b>0.851</b>
Th	<b>0.921</b>	-0.019	0.134	<b>0.938</b>	0.175	0.044	0.010	0.081
U	0.210	<b>0.953</b>	<b>0.768</b>	-0.112	0.021	0.242	0.014	-0.033
РЗЭ	<b>0.844</b>	<b>0.936</b>	0.004	0.137	0.078	0.234	-0.053	0.081

Расчет суммарного показателя загрязнения (СПЗ) почв является одним из индикатором загрязнения почв, в основе которого лежит расчет коэффициентов концентрации ( $K_k > 1$ ). На территории Томской и Кемеровской области этот показатель был рассчитан относительно двух нормативов (Григорьев, 2009; Касимов и др. 2015), и соответствует низкой степени загрязнения (таблица 5.12) (Саев и др, 1990).

Таблиц 5.12 Суммарный показатель загрязнения почвы

Территории исследования	Кларк верхней части континентальной земной коры (Касимов Н. С. и др. 2015)	Кларк верхней части континентальной земной коры (Григорьев Н. А., 2009)
Восточная часть Колпашевской металлогенической зоны (Томская область)	12,7	3,8
Центральная часть Шорской металлогенической зоны (Кемеровская область)	17	8,4

Для установления закономерностей аккумуляции химических элементов листьями осины, рассчитаем коэффициент биологического поглощения, или накопления  $A_x$  (КБ). По рассчитанному коэффициенту были

составлены ряд биологического поглощения химических элементов (таблица 5.13):

Таблица 5.13 Коэффициент биологического поглощения химических элементов листьями осины

Томская область	<b>Au<sub>42</sub>-Zn<sub>36</sub>-Ca<sub>9</sub>-Br<sub>5</sub>-Ba<sub>1</sub>-Co<sub>0,6</sub>=Rb-Sb<sub>0,3</sub>-Sm<sub>0,1</sub>=La=As=Na=Nd=Tb=Cr=U=Eu=Ce=Lu=Cs-Ta<sub>0,05</sub>-Yb<sub>0,04</sub>=Fe=Hf</b>
Кемеровская область	<b>Zn<sub>13</sub>=Au<sub>8</sub>-Ca<sub>7</sub>-Br<sub>4</sub>-Ba<sub>2</sub>-Rb<sub>0,8</sub>-Co<sub>0,5</sub>-Sb<sub>0,3</sub>-Cr<sub>0,2</sub>=Ta=Tb=La=Nd-As<sub>0,1</sub>=Cs=Lu=Ce=Yb=Sm=Eu=U=Sc=Na-Th<sub>0,05</sub>-Fe<sub>0,04</sub>=Hf</b>

Коэффициенты биологического поглощения (КБП) для специфичных элементов в листьях осины Au, Zn, Ca, Br, Ba имеют значения выше 1, представительная группа элементов имеют значение ниже 1, что свидетельствует об отсутствии их интенсивного накопления из почвенных растворов, происходит это скорее всего вследствие ветровой эрозии и пыления эоловых отложений, что также может свидетельствовать о форме доступности элементов растению (Кабата -Пендиас, 1989) (рисунок 5.14, 5.15).

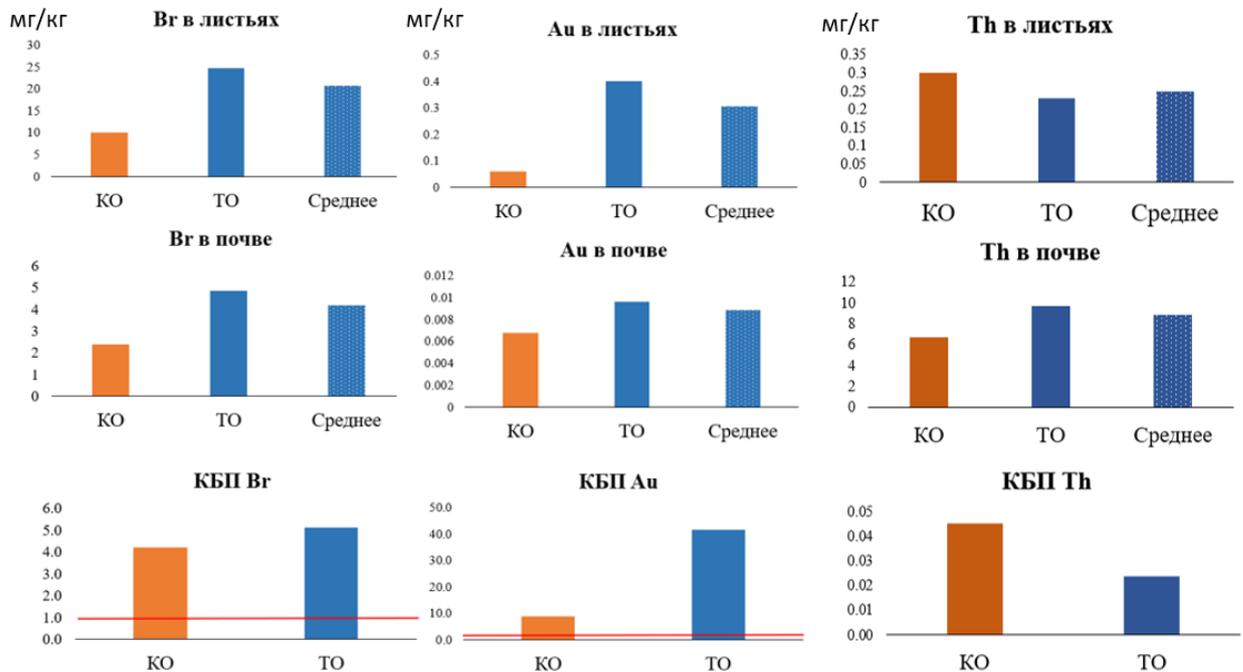


Рисунок 5.14 Среднее содержание и коэффициент биологического поглощения (КБП) Br, Au и Th в листьях осины на территории Томской области

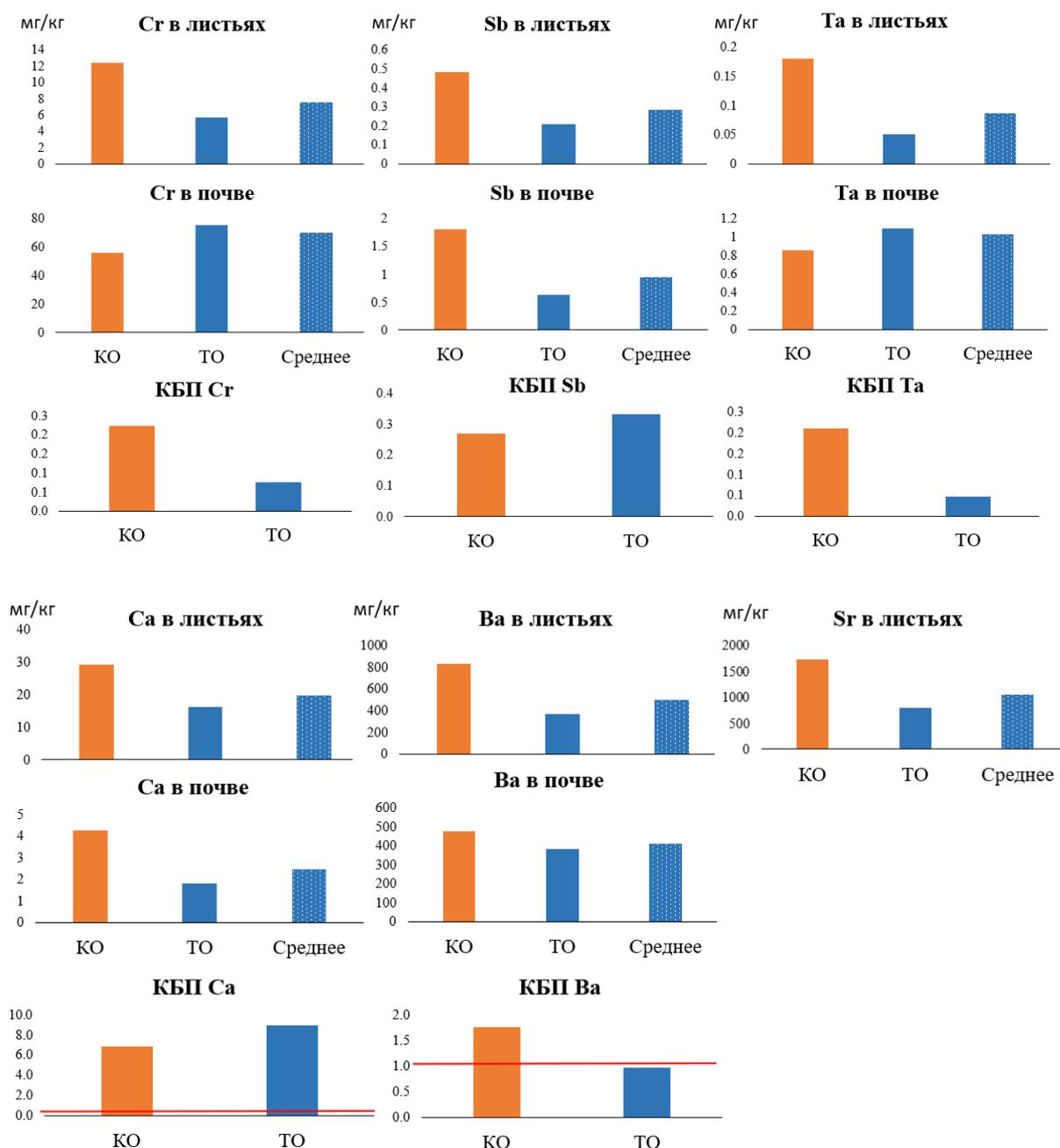


Рисунок 5.15 Среднее содержание и коэффициент биологического поглощения (КБП) Cr, Sb, Ta, Ca, Sr и Ba в листьях осины на территории Кемеровской области

*Таким образом, почва как депонирующая среда, долговременная, для ее изменения нужны колоссальные усилия и колоссальные временные затраты, а растения очень чувствительны к любым изменениям, к пылению, к изменению внутренних обстановок и зачастую они показывают это раньше, чем почва или любая другая среда. Поэтому изучение специфики растительности*

*района надо рассматривать в системе «почва-растение- атмосферный воздух».*

## 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, РЗЭ, 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 пластины 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 потребуются отмывка листьев.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адам А. М. Ресурсно-экологический атлас Томской области: на русском, английском, немецком, французском языках / А. М. Адам, С. Ф. Богачев. – 2-е изд. – Томск : Печатная мануфактура, 2012. – 31 с.
2. Алексеева-Попова Н. В. Токсичность цинка для высших растений // Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. – Ленинград : Ботанический институт им. В. Л. Комарова АН СССР, 1991. – С. 23-32.
3. Алексеенко, В. А. О ландшафтно-геохимических особенностях районов обрабатываемых рудных месторождений / В. А. Алексеенко, Н. В. Швыдкая, А. В. Пузанов // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах : материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей, Тюмень, 23–28 апреля 2018 года / Под редакцией: В.А. Боева, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавина. – Тюмень: Тюменский государственный университет. – 2018. – С. 28-47.
4. Анушенков А.Н. Производство закладочных работ. На примере Таштагольского подземного рудника : учеб. пособие / А. Н. Анушенков. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 136 с.
5. Арбузов С. И. Геохимия редких элементов в углях Центральной Сибири: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / С. И. Арбузов; Томский политехнический университет; науч. конс. Л. П. Рихванов. – Томск, 2005. – 48 с.
6. Арбузов С. И., Рихванов Л. П. Геохимия радиоактивных элементов. – 2009.
7. Арбузов С. И. Среднее содержание некоторых элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты/ Арбузов С.И., Архипов В.К., Бернатонис В.К., Бобров В.А., Маслов С.Г., Межибор А.М., Прейс Ю.И., Рихванов Л.П., Судыко А.Ф., Сысо А.И.//Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2009. – Т. 315. – №. 1.

8. Афонин И. В. Геохимические особенности терригенных отложений на примере верхней части покурской свиты Ваньеганской нефтегазоносной структуры (Западная Сибирь) : дис. ... канд. геолого-минералог. наук / Афонин Игорь Викторович. – Томск, 2016. – 195 с.
9. Бабин А.А. Геолого-экономическая характеристика Бакчарского и Южно-Колпашевского месторождений // Западно-Сибирский железорудный бассейн. – Новосибирск: СО АН СССР, 1964. – С.270-298.
10. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976. – 265 с.
11. Барановская Н. В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем : автореф. дис. ... д-р. биол. наук / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, 2011. – 46 с.
12. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений / Р. Баргальи ; пер. с англ. И. Н. Михайловой ; науч. ред. Н. С. Касимов. – Москва : ГЕОС, 2005. – 453 с.
13. Баумгертнер М. В. Лишайники - биоиндикаторы загрязнения окружающей среды юга Кемеровской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Баумгертнер Марина Викторовна. – Новосибирск, 1999. – 175 с.
14. Берзина И. Г. Обнаружение радиоактивного загрязнения окружающей среды по радиографии растений // Радиографические методы исследования в радиогеохимии и смежных областях : 3 Всесоюзное совещание, г. Томск, 11-15 июня 1991. – Новосибирск : Изд-во ОИГГМ СО АН СССР, 1991. – С. 102-103.
15. Боев В. А. Ртуть в листовом опаде подтаежных лесов на фоновой территории / В. А. Боев, Н. В. Барановская, В. В. Боев // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 8. – С. 124-131.

16. Варламов С. Н. Сводная структурная карта по подошве платформенного чехла территории Новосибирской и Омской областей. Отчёт партии 128/88-89, Фонды «ОАО» ЦГЭ, 1989. – ? с.

17. Вахрушев В. А. Вопросы минералогии, геохимии и генезиса железных руд Кондомского района Горной Шории (Западная Сибирь) / В. А. Вахрушев. – Новосибирск : ИГиГ СО АН СССР, 1959. – 191 с.

18. Вещественный состав эмбриоземов, формирующихся на отвалах железорудных месторождений юга Западной Сибири / В. П. Середина, В. Г. Двуреченский, И. А. Пронина, А. Н. Акинина // Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. – 2017. – № 40. – С. 25-43.

19. Вернадский В. И. Биогеохимические очерки, 1922-1932 гг. – Изд-во АН СССР. – 1940.

20. Вернадский В. И. Биосфера. Избр. соч. т. 5. – 1960.

21. Веретенникова Е. Э. Содержание и распределение химических элементов в торфах южнотаежной подзоны Западной Сибири // География и природные ресурсы. – 2013. – №. 2. – С. 89-95.

22. Виноградов А. П. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции // Геохимия. – 1963. – Т. 3. – С. 199-213.

23. Воскресенский В. С. Экологические особенности древесных растений в урбанизированной среде : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Воскресенский Владимир Станиславович. – Казань, 2011. – 23 с.

24. Геологический отчет о результатах работ на объекте Государственная гравиметрическая съемка М 1:200 000 на Пихтовской площади в пределах Новосибирской и Томской областей / Антонович Р. М. отв. испол. – Новосибирск : ООО ЦГЭ, 2008. – 495 л.

25. Геолого-геохимические особенности основных типов руд Бакчарского железорудного месторождения / О. М. Гринёв, Е. А. Григорьева, Е. А. Бу, Е. П. Тюменцева // Нефть, газ, геология. Экология: современное состояние, проблемы, новейшие разработки, перспективные исследования: материалы круглых столов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – С. 129-149.

26. Геохимия ландшафтов. К 100-летию со дня рождения Александра Ильича Перельмана / под ред. Н. С. Касимова, А. Н. Геннадиева. – Москва : АПР, 2017. – 544 с.
27. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саев, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра. – 1990. – 335 с.
28. Геохимическая таблица ВИМС, 1973.
29. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий / Юсупов Д. В., Л. П. Рихванов, Н. В. Барановская, А. Р. Ялалтдинова // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 6. – С. 25-36.
30. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов : учеб. пособие / М. А. Глазовская. – Москва : МГУ, 1964. – С. 230.
31. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. – Москва : Высш. шк, 1988. – 328 с.
32. Гринев О. М. Геологическая изученность и проблемы освоения железных руд Бакчарского месторождения // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы предприятий ТЭК Сибири : материалы междунар. научно-практич. конференции. – Томск : Изд-во ТГУ, 2007. – С. 72-81.
33. Гололобова А. Г. Вариационная статистика при эколого-геохимических исследованиях почв, подверженных техногенному воздействию // Проблемы региональной экологии. – 2022. – №. 5. – С. 54-59.
34. ГОСТ 24027.0-80. Сырье лекарственное растительное. Правила приемки и методы отбора проб. – Доступ из справочно-правовой системы «Кодекс» (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.
35. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к охране почв. – Доступ из справочно-правовой системы «Кодекс» (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.

36. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – Доступ из справочно-правовой системы «Кодекс» (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.

37. ГОСТ 26929–94 Межгосударственный стандарт «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов» – Доступ из справочно-правовой системы «Кодекс» (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.

38. Государственная геологическая карта Российской Федерации, масштаба 1:200 000, Кузбасская серия, Карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения (О-45-XXXII (Тайга)). Авторы: Т.И. Черникова, А.Ф. Рубцов, В.А. Домаренко, Е.П. Янкович, 2007

39. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист О-44 – Колпашево. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», ООО «ГЕОТЭКС». – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. – 214 с.

40. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 – Новокузнецк. Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 2007. – 665 с. Гутак Я. М. Минерально-сырьевая база Кемеровской области (современное состояние, перспективы, проблемы) // Изв. высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2003. – № 6. – С. 61-65.

41. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист О-45 – Томск. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», ФАУ «ЗапСибНИИГГ». – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 2021. – 181 с.

42. Гусев Г.С. Тектоническое районирование и геохимия чехла Западно-Сибирской платформы / Г.С. Гусев, О.Н. Сироткина, Н.В. Межеловский, В.А. Килипко // Бюллетень Московского общества

испытателей природы. Отделение геология. –2016. –Т. 91. – Вып. 4–5. –С. 123–135.

43. Гусев А. И. Типизация золото-ртутного оруденения Горного Алтая //Успехи современного естествознания. – 2012. – №. 12. – С. 87-91.

44. Даргевич В. А. Металлогенические зоны мелового и палеогенового возраста и тектоника фундамента ЗСП в пределах Томской области // Геология и минерагения Сибири. – Новосибирск : [б. и.], 1997. – 87-121 с.

45. Демиденко В. П. Микроэлементы в древесине осины различных морфологических форм // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. Наук. – 1973. – Вып. 3, № 15. – С. 122-123.

46. Диярова Э. Р. Содержание металлов в древесных растениях, произрастающих на отвалах Учалинского горно-обогатительного комбината Республики Башкортостан / Э. Р. Диярова, Р. Х. Гиниятуллин, Кулагин А. А. // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. – 2009. – № 6. – С. 118-120.

47. Добровольский В. В. Геохимическое земледование : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «География» / В. В. Добровольский. – Москва : Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2008. – 207 с.

48. Добровольский В. В. Геохимия почв и ландшафтов. Т. 2 : избранные труды / В. В. Добровольский. – Москва : Науч. мир, 2009. – 752 с.

49. Домаренко В. А. Особенности распределения химических элементов в болотных экосистемах Восточного Васюганья/ Домаренко В. А., Савичев О. Г., Перегудина Е. В. //Разведка и охрана недр. – 2017. – №. 8. – С. 50-54.

50. Дорохова Л. А. Геохимические и минералогические индикаторы ветровой дефляции на урбанизированных территориях с использованием листьев тополя / Л. А. Дорохова, Д. В. Юсупов, Л. П. Рихванов // Изв. Томского политехнич. ун-та. – 2020. – Т. 331, № 11. – С. 137-146.

51. Западно-Сибирский железорудный бассейн / под ред. Ф. Н. Шахова. – Новосибирск : Изд. СОАН, 1964. – 448 с.

52. Евсеева Н. С. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины / Н. С. Евсеева, А. А. Земцов. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 1990. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000066342> (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.
53. Евсеева Н.С. География Томской области. Природные условия и ресурсы. – Томск: ТУ, 2001. – 223 с.
54. Ермашова Н. А. Железистые воды юго-востока Западно-Сибирского артезианского бассейна // Геология, гидрогеология и инженерная геология Западной Сибири : сб. науч. тр. – Тюмень : ТюмИИ, 1982. – С. 3-10.
55. Железнов Я. А. Зонирование территории Кемеровской области по уровню техногенной нагрузки с учетом экологического фактора // Изв. Иркутского гос. ун-та. Серия: Науки о Земле. – 2021. – Т. 35. – С. 19-32.
56. Железнова О. С. Цинк и кадмий в фитомассе древесных растений лесных экосистем: закономерности транслокации, аккумуляции и барьерных механизмов/ Железнова О. С., Черных Н. А., Тобратов С. А. //Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2017. – Т. 25. – №. 2. – С. 253-270.
57. Журавлева Н. В. Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кемеровской области/ Журавлева Н.В., Иваныкина О.В., Исмагилов З.Р., Потокина Р.Р. //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №. 3. – С. 187-196.
58. Загурская Ю. В. Качество сырья лекарственных растений при выращивании в антропогенно нарушенных регионах Западной Сибири на примере *Hypericum perforatum* L. и *Leonurus quinquelobatus* Gilib / Загурская Ю.В., Баяндина И.И., Сиромля Т.И., Сысо А.И., Дымя Е.В., Вронская О.О., Казанцева Л.М.//Химия растительного сырья. – 2013. – №. 4. – С. 141-150.
59. Зеликсон Б. С. Биогеохимические поиски золота в горно-таежных ландшафтах // Руды и металлы. – 2011. – № 3-4. – С. 64-64.

60. Земцов В. А. Воды // География Томской области. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 1988. – С. 76-96.

61. Зубарева К. Э. Влияние выбросов автомобильного транспорта на элементный состав листьев подорожника большого/ Зубарева К. Э., Качкин К. В., Сиромля Т. И. //Химия растительного сырья. – 2011. – №. 2. – С. 159-164.

62. Зырин Н. Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Н. Г. Зырин, С. Г. Малахов. – Москва : Гидрометеоиздат, 1981. – С. 187.

63. Иванова Г. М. Геохимические особенности габбро-сиенитового комплекса на участке рудника Таштагол // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 1966. – Т. 151. – С. 149-151.

64. Иванова Н. А. Особенности поглощения и миграции тяжелых металлов в органах растений в условиях Среднего Приобья / Н. А. Иванова, Н. А. Шарф. – Текст : электронный // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2011. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-pogloscheniya-i-migratsii-tyazhelyh-metallov-v-organah-rasteniy-v-usloviyah-srednego-priobya> (дата обращения: 29.01.2024).

65. Иванова И. С. Железосодержащие воды Томской области / И. С. Иванова, О. Е. Лепокурова, С. Л. Шварцев // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 58-62.

66. Иванова И. С. Особенности микроэлементного состава подземных вод территории Бакчарского железорудного узла (Томская область) / И. С. Иванова, О. Е. Лепокурова // Вестн. Томского гос. ун-та. – 2015. – № 398. – С. 224-232.

67. Ивашов П. В. Теоретические основы биогеохимического метода поисков рудных месторождений (применительно к территории Дальнего Востока) / П. В. Ивашов. – Новосибирск : Наука, 1976. – 270 с.

68. Игнатова А. Ю. Горнопромышленная экология / А. Ю. Игнатова. – Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2015. – 162 с.
69. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – Москва : Недра, 1983. – 192 с.
70. Кабалин С. И. Ценные породы в лесных культурах Новосибирской области // Лесное хозяйство. – 1958. – № 3. – С. 45-48.
71. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва : МИР, 1989. – 439 с.
72. Кавеленова Л. М. К специфике содержания зольных веществ в листьях древесных растений в городской среде в условиях лесостепи (на примере Самары)/ Кавеленова Л. М., Здетовский А. Г., Огневенко А. Я. //Химия растительного сырья. – 2001. – №. 3. – С. 85-90.
73. Кадастровые сведения о Шорском национальном парке за 2017-2020 гг. / отв. испол. Дударева Е. В. – Таштагол, 2020. – 213 с.
74. Калугин А. С., Калугина Т. С., Иванов В. И. Железорудные месторождения Сибири. – 1981.- 238 с.
75. Карепина К. В. Редкие и радиоактивные элементы в железных рудах Западно-Сибирского железорудного пояса на примере Бакчарского узла (Томская область) / К. В. Карепина, В. А. Домаренко, Л. П. Рихванов // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 5 (6). – С. 29-35.
76. Карта тектонического районирования Сибирского федерального округа Кемеровская область (карта составлена по материалам цифровой модели «Схемы тектонического районирования России и прилегающих акваторий масштаба 1: 5 000 000»). – Москва, 2001.
77. Касимов Н. С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии/ Касимов Н. С., Власов Д. В. //Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2015. – №. 2. – С. 7-17.
78. К методике определения благородных металлов методом инверсионной вольтамперометрии / А. Я. Пшеничкин, Н. А. Колпакова, В. А. Домаренко [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 7. – С. 45-49.

79. Ковальский В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. – Москва : Наука, 1974. – 300 с.
80. Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений / А. Л. Ковалевский. – 2-е изд. – Москва : Недра, 1984. – 174 с.
81. Ковалевский А. Л. Биогеохимия растений / А. Л. Ковалевский. – Новосибирск : Наука, 1991. – 294 с.
82. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – Москва : Наука, 1985. – 263 с.
83. Колпиков М. В. Лесоводство с дендрологией / М. В. Колпиков. – Москва : Гослесбумиздат, 1954. – 496 с.
84. Кропанин С. С. Минералого-геохимические особенности цирконильменитовых месторождений Томь-Яйского междуречья : дис. – 1997.
85. Кузнецова А. С. Биоиндикационные показатели стабильности развития листовой пластинки *Populus tremula* в условиях воздействия транспортных потоков / А. С. Кузнецова, Е. В. Сотникова // Вест. Российского уни-та дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2016. – № 3. – С. 45-51.
86. Кудрик И. Д. Экологическая геохимия: конспект лекций для студентов направления 6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование» дневной и заоч. формы обучения / И. Д. Кудрик. – Керчь : [б. и.], 2013. – URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-ekologicheskaya-geohimiya-konspekt-lekciy.pdf> (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.
87. Кьосев П. А. Полный справочник лекарственных растений / П. А. Кьосев. – Москва : ЭКСМО-Пресс, 2000. – 992 с.
88. Ландшафтно-геохимические изменения, вызванные разработкой рудных месторождений / В. А. Алексеенко, Г. А. Юргенсон, Н. В. Швыдкай, А. В. Пузанов // Вестн. Забайкальского гос. ун-та. – 2019. – Т. 25, № 5. – С. 6-17.

89. Лепокурова О. Е. Геохимия подземных вод района Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) / О. Е. Лепокурова, И. С. Иванова. – Текст : электронный // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2011. – № 353. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geohimiya-podzemnyh-vod-rayona-bakcharskogo-zhelezorudnogo-mestorozhdeniya-tomskaya-oblast> (дата обращения: 29.01.2024).

90. Лесная энциклопедия : В 2-х т. : т. 2 / гл. ред. Воробьев Г. И. ; ред. кол. Н. А. Анучин, В. Г. Атрохин, В. Н. Виноградов [и др.]. – Москва : Сов. энциклопедия. – 1986. – 631 с.

91. Леухин И. В. Изучение факторов магнитной восприимчивости почвенного покрова г. Таштагол // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXV Междунар. симпозиума им. академика М.А. Усова студ. и молодых учёных, посвященного 120-летию горно-геологич. образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политех. ун-та, Томск, 5-9 апр. 2021 г. – Томск, 2021. – Т. 1. – С. 374-375.

92. Леухин И. В. Оценка загрязненности хвои и снегового покрова Шорского национального парка с помощью методов статистического анализа / И. В. Леухин, Е. В. Дударева, А. Е. Барабанцова // Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов. – 2022. – С. 131-135.

93. Леухин И. В. Оценка состояния компонентов природной среды на территории Шорского национального парка в период с 2016 по 2021 гг. / И. В. Леухин, Е. В. Дударева, А. Е. Барабанцова // Тр. Мордовского гос. природного заповедника им. П. Г. Смидовича. – 2021. – № 28. – С. 51-57.

94. Лобанова И. Ю. Выделение и изучение состава флавоноидов листьев осины обыкновенной / И. Ю. Лобанова, В. Ф. Турецкова // Химия растительного сырья. – 2011. – № 2. – С. 117-122.

95. Мазуров А. К. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, Томская область/ Мазуров А.К., Боярко Г.Ю., Емешев В.Г., Комаров А.В. // Руды и металлы. – 2006. – №. 2. – С. 64-70.

96. Мартынов А. М. Фенольные соединения и элементный состав почек осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) / А. М. Мартынов, М. Н. Токарева, Е. В. Чупарина // Сибирский медицинский журнал. – 2011. – Т. 105, № 6. – С. 235-236.

97. Мартынов А. М. Исследование фенольных соединений и элементного состава коры *Populus tremula* L. / А. М. Мартынов, Е. В. Чупарина // Сибирский медицинский журнал. – 2015. – Т. 133, № 2. – С. 118-119.

98. Мекуш Г. Е. Экономическая оценка ущерба экономике Кемеровской области от заболеваемости населения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – №. 12. – С. 191-195.

99. Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов. Приказ Рослесхоза от 10.11.2011 n 472 (ред. от 15.03.2018). – Доступ из справочно-правовой системы «Консультант Плюс» (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.

100. Микробиологические условия распределения химических элементов по глубине торфяной залежи в экосистемах восточной части Васюганского болота (Западная Сибирь) / О. Г. Савичев, Н. Г. Наливайко, М. А. Рудмин, А. К. Мазуров // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 9. – С. 184-194.

101. Минеральная форма редкоземельных элементов в морских ооидовых железняках / А. М. Сорокина, И. В. Рева, М. А. Рудмин, А. Б. Даулетова // Новое в познании процессов рудообразования : девятая Рос. молодёжная науч.-практич. Школа с междунар. участием. – 2019. – С. 386-389.

102. Многомерный статистический анализ содержаний элементов в снеговом покрове г. Благовещенска / В. И. Радомская, Д. В. Юсупов, Л. М. Павлова [и др.] // Региональная экология. – 2018. – № 2. – С. 15-28.

103. Научные предпосылки освоения Западной Сибири / под ред. М. И. Нейштадта. – Москва : Наука, 1977. – 228 с.

104. Николаева И. В. Бакчарское месторождение оолитовых железных руд / И. В. Николаева. – Новосибирск : Наука, 1967. – 133 с.

105. Некрасова, В. Б. Лечебно-профилактические средства из биомассы дерева // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы третьей междунар. научно-технич. конф., Санкт-Петербург, 23-24 мая 2018 г. / под ред. В. М. Гедьо. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский гос. лесотехнический ун-т им. С.М. Кирова, 2018. – Т. 2 – С. 116-117.

106. Новикова О. В. Ассоциации микроэлементов в древесной растительности гг. Москвы и Кито / О. В. Новикова, М. Г. Макарова, Н. Е. Кошелева // Вестн. Российского ун-та дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2004. – № 1. – С. 178-186.

107. Овсянникова Т.М. Биогеохимические методы поисков скрытых месторождений // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 2. – С. 3–11.

108. Осипов Д. К., Журавлев Р. С., Комарницкий Г. М. Геохимия урана в гранитоидах Верхне-Кондомского массива (Горная Шория) // Геол. и геофиз. – 1964. – №. 6. – С. 48-57.

109. Описание Экологической карты Кемеровской области / Г. И. Грхщко, В. И. Овдецко, Л. П. Барагпшж, Е. Л. Счастливец. – Кемерово : [б. и.], 1996. – 54 с.

110. Отражение природных и техногенных золоторудных объектов в литогеохимических и биогеохимических полях (Дюбкошская площадь, Енисейский кряж) / В. А. Макаров, А. И. Фертиков, А. А. Белозерова [и др.] // Журнал Сибирского федерального ун-та. Техника и технологии. – 2013. – Т. 6, № 7. – С. 750-760.

111. Основные гидрогеологические и гидрогеохимические особенности торфяных месторождений центральной части Обь-Иртышского междуречья / Н. М. Рассказов, П. А. Удодов, Т. Я. Емельянова [и др.] // Подземные воды Сибири и Дальнего Востока. – Москва : Недра, 1971. – С. 229-232.

112. Оценка экологической емкости природной среды Кемеровской области с учетом перспективы развития угольной промышленности до 2020 года в структуре производительных сил области. – Кемерово, 2006. – 276 с.

113. Оценка Бакчарского железорудного месторождения для отработки методом СГД: отчет по госконтракту № ТВ-04-04-2006 / М. С. Паровинчак [и др.]. – Томск : ООО «НПО ТомГДК РУДА», 2009. – Т. 1. – 152 с.

114. Паровинчак М. С. Потенциал и перспективы освоения неуглеводородных минерально-сырьевых ресурсов Томского приобья / М. С. Паровинчак, О. М. Гринев, Л. П. Рихванов // Материалы Междунар. научно-технической конф. «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства». – Томск : Изд-во ТПУ, 2001. – С. 279-285

115. Перегудина Е. В. Редкие и радиоактивные элементы в железных рудах Бакчарского узла и прогнозная оценка воздействия на экосистему восточного Васюганья при их отработке / Е. В. Перегудина, В. А. Домаренко // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. – 2016. – С. 513-517.

116. Перегудина Е. В. Биогеохимические особенности элементного состава листьев осины обыкновенной (*Populus tremula*) на территории Бакчарского рудного узла // Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине : труды XII междунар. биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева. – Тула, 2021. – С. 450-454.

117. Перегудина Е. В. Использование статистических показателей в оценке эколого-геохимической ситуации территории восточной части Колпашевско-Туруханской минерагенической зоны / Е. В. Перегудина, И. С. Соболев, Н. В. Барановская // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 11. – С. 34-49.

118. Перегудина Е. В. Эколого-геохимические особенности ртутной нагрузки на территорию юга Западной Сибири / Е. В. Перегудина, Е. Е.

Ляпина, Н. В. Барановская // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 12. – С. 65-75.

119. Переломов Л. В. Иммобилизация водорастворимых солей цинка в почве / Л. В. Переломов, Д. Л. Пинский // Агрехимия. – 2005. – № 7. – С. 66-72.

120. Перельман А. И. Геохимия техногенеза // Проблемы минерального сырья. – 1975. – С. 199-208.

121. Перельман А. И. Геохимия : учеб для геод. спец. вузов. – 2-е изд. – Москва : Высш. шк., 1989. – 528 с.

122. Перспективы освоения железорудных месторождений Томской области / А. К. Мазуров, Г. Ю. Боярко, А. А. Ананьев, В. Г. Емешев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2005. – № 5. – С. 16-20.

123. Подурец О. И. Специфика почвообразования Кузнецко-Алатаусского и Горно-Шорского таежных районов // Ботанические исследования в Сибири / Красноярское отделение Русского ботанического общества РАН ; Федеральное гос. бюджетное учреждение науки ин-т леса им. В.Н. Сукачева Сиб. отд. РАН. – Красноярск : Поликом, 2015. – Вып. 23. – С. 41.

124. Протасова Н. А. Химические элементы в жизни растений / Н. А. Протасова, А. Б. Беляев // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 3. – С. 25-32.

125. Рихванов Л. П. Радиоактивные элементы в окружающей среде / Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Барановская Н.В., Волостнов А.В., Архангельская Т.А., Межибор А.М., Берчук В.В., Жорняк Л.В., Замятина Ю.Л., Иванов А.Ю., Таловская А.В., Шатилова С.С., Язиков Е.Г. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2007. – Т. 311. – №. 1. – С. 128-136.

126. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиозащиты : учебное пособие. – Томск: СТУ. – 2009. – 430 с.

127. Рудмин М. А. Морфология и вещественный состав железных руд Бакчарского рудопроявления (Томская область) / М. А. Рудмин, А. К. Мазуров, А. С. Рубан // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11. – С. 1323-1327.
128. Рунова Е. М. Оценка состояния лиственных древостоев в зонах техногенного воздействия / Е. М. Рунова, О. А. Костромина // *Вестн. Красноярского гос. аграрного ун-та*. – 2007. – № 6. – С. 121-126.
129. Сафин Р. Г. Экстрагирование биологически активных веществ из коры осины / Р. Г. Сафин, Д. Ф. Зиатдинова, Г. Р. Арсланова // *Лесной вестник / Forestry bulletin*. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 65-69.
130. Сибиркина А. Р. Сравнение содержания соединений кобальта в органах и тканях древесных растений / А. Р. Сибиркина, С. Ф. Лихачев // *Самарский научный вестник*. – 2017. – Т. 6, № 2 (19). – С. 84-87.
131. Синяков В. И. Формационные типы железорудных месторождений Тельбесского рудного пояса (Горная Шория) / В. И. Синяков. – Новосибирск : Наука, 1975. – 187 с.
132. сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной. – 2018. – С. 10-14.
133. Скрыбин М. П. Осинники Воронежского заповедника и опытные работы для их замены или улучшения // *Тр. Воронеж. гос. Заповедника*. – 1954. – Вып. 5. – С. 142-146.
134. Сладкопевцев С. А. Экологические проблемы Западной Сибири // *Энергия: экономика, техника, экология*. – 2006. – № 2. – С. 47-48.
135. Смилга Я. Я. Осина. НПО «Силава» / Я. Я. Смилга. – Рига : Латвийский научно-исслед. ин-т лесохозяйственных проблем, 1986. – 230 с.
136. Солодов Н.А., Семенов Е.И., Бурков В.В. Геологический справочник по тяжелым литофильным редким металлам. –М.: Недра, 1987. – 440 с.
137. Структурная карта по подошве баженовской свиты территории Томской области (Выкопировка из «Обзорной карты территории деятельности «Томскнефтегазгеологии», ред. Биджаков В.И.).

138. Сурков В. С. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты / В. С. Сурков, О. Г. Жеро. – Москва : Недра, 1981. – 143 с.
139. Сысо А. И. Специфика болотообразования в южной части Большого Васюганского болота / А. И. Сысо, А. М. Перегон // Сибирский экологический журнал. – 2009. – Т. 16, № 2. – С. 245-250.
140. Таловская А. В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снегового покрова / А. В. Таловская, Е. Г. Языков, Е. А. Филимоненко // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2014. – № 5. – С. 408-417.
141. Тамм Ю. А. О морфометрии листа осины / Ю. А. Тамм, Я. М. Ханнус // Metsanduslikud uurimused. – 1977. – № 13. – С. 242-269.
142. Тамм Ю. Закономерности роста листа осины / Ю. Тамм, В. Росс // Изв. АНЭ ССР. биол. науки. – 1980. – Т. 29, № 1. – С. 61-72.
143. Ткачев Ю.А. Статистическая обработка геохимических данных / Ю.А. Ткачев, Я.Ю. Юдович. – Л: Наука, 1975. – 233 с.
144. Ткаченко М. Е. Общее лесоводство / М. Е. Ткаченко. – Москва ; Ленинград : Гослесбумиздат, 1952. – 600 с.
145. Трофимов С. С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области / С. С. Трофимов. – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1975. – 300 с.
146. Трифонова Т. А. Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов / Т. А. Трифонова, Л. А. Ширкин, Н. В. Селиванова. – Владимир : Владимир Полиграф, 2007. – 170 с.
147. Турсуналиева Е. М. Наблюдение за содержанием ртути в листьях тополя бальзамического в зоне влияния новосибирского завода химконцентратов // Сборник МЭСК. – 2017. – № 40. – С. 31-32.
148. Удодов В. А. Отчет по хоз. договору 75/63 на тему «Состояние программы гидрогеологических и гидрогеохимических исследований юго-

восточной части васюганского торфяного массива» / В. А. Удодов, Н. М. Рассказов, Т. Я. Алина. – [б. м.] : [б. и.], 1963. – С. 98.

149. Фаустова Н. М. Антибактериальная активность экстрактивных веществ коры осины в отношении некоторых пневмотропных микроорганизмов / Н. М. Фаустова, М. Е. Фаустова, И. П. Дейнеко // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2006. – № 3. – С. 3-7.

150. Филиппов П. А. О развитии рудной базы металлургического комплекса Западной Сибири / П. А. Филиппов, А. М. Фрейдин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 133-143.

151. Формы нахождения редкоземельных элементов в торфах Западной Сибири / С. И. Арбузов, С. Г. Маслов, С. С. Ильенок, Е. В. Перегудина // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327, № 5. – С. 42-53.

152. Химические элементы и аминокислоты в жизни растений, животных и человека / Л. А. Власюк, И. М. Шкварук, С. Е. Сапатый, Т. Д. Шамотиенко. – Киев : Наукова думка, 1974 – 218 с.

153. Хмелев В. А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования / В. А. Хмелев, А. А. Танасиенко. – Новосибирск : Изд-во Сиб. Отд. Рос. академии наук, 2013. – 476 с.

154. Черняев Е. В. Твердые полезные ископаемые Томской области / Е. В. Черняев, В. К. Бернатонис, Г. Ю. Боярко // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. – Томск : Изд-во ТПУ, 2001. – С. 361-368.

155. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения–как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона/ Рихванов Л.П., Кропанин С.С., Бабенко С.А. и др. //Кемерово. – ООО «САРС». – 2001. – 214 с.

156. Шагиева Ю. А. Тяжелые металлы в почве и в растениях Башкирского Зауралья в условиях техногенеза : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Шагиева Юлия Александровна. – Тольятти, 2002. – 20 с.

157. Шайхиев И. Р. Эколого-геохимическое состояние компонентов природной среды Бакcharского района на территории предполагаемого освоения ресурсов железных руд : дис. ... канд. геол.-минералог. наук. – Томск, 2017. – 159 с.

158. Шайхиев И. Р. Эколого-геохимические исследования природных сред района Бакcharского железорудного месторождения (Томская область) / И. Р. Шайхиев, Л. П. Рихванов // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326, № 5. – С. 62-78.

159. Шатилов А. Ю. Вещественный состав и геохимическая характеристика пылевых атмосферных выпадений на территории Обского бассейна : дис. – 2002.

160. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / Шварцев С. Л. – 2-е изд. – Москва : Недра, 1998. – 366 с.

161. Щербина В. В. Особенности геохимии скандия и типы его месторождений / В. В. Щербина. – Москва : Госгеолтехиздат, 1960. – 58 с.

162. Шестаков Ю. Г. Математические методы в геологии : Учеб. пособие для студентов геолог. спец. / Ю.Г. Шестаков ; Краснояр. гос. ун-т. – Красноярск. – Изд-во КГУ. – 1988. – 208 с.

163. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / под ред. А. Г. Бакирова. – Томск : Изд-во ИП Серкова Т.И, 2006. – 216 с.

164. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л. П. Рихванов, Е. Г. Языков, Ю. И. Сухих [и др.]. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2006. – 216 с.

165. Элементный состав листвы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбасистем / Л. П. Рихванов, Д. В.

Юсупов, Н. В. Барановская, А. Р. Ялалтдинова // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19, № 6. – С. 58-63.

166. Элементный состав лишайника на шифере как биоиндикатор загрязнения атмосферы агломерации г. Горно-Алтайска / Ю. В. Робертус, Л. П. Рихванов, В. А. Ситникова [и др.] // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 4. – С. 70-78.

167. Юсупов Д. В. Биогеохимические ореолы золота и ртути Покровского золоторудного месторождения (Верхнее Приамурье) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2009. – № 6. – С. 38-43.

168. Юсупов Д.В. Тяжелые металлы в пылевом аэрозоле северо-западной промышленной зоны г. Благовещенска (Амурская область) / Д.В. Юсупов, В.И. Радомская, Л.М. Павлова и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – №10. – С. 906-910.

169. Юсупов Д. В. Методология биогеохимической индикации урбанизированных и горнопромышленных территорий на основе анализа древесной растительности : дис. ... д-ра геолого-минералог. наук / Юсупов Дмитрий Валерьевич. – Томск, 2022. – 344 с.

170. Ялалтдинова А. Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска : дис. ... канд. геолого-минералог. наук / Ялалтдинова Альбина Рашидовна. – Томск, 2015. – 172 с.

171. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ. – 1992. – 192 с.

172. Янин Е.П. Скандий в окружающей среде (распространенность, техногенные источники, вторичные ресурсы) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2007. – № 8. – С. 70–90.

173. A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators / T. Sawidis, A. Marnasidis, G. Zachariadis, J. Stratis // Environmental contamination and toxicology. – 1995. – Vol. 28, № 1. – pp. 118-124.

174. Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna / Simon E., Braun M., Vidic A., Bogyo D., Fabian I., Tothmeresz B. // *Environmental Pollution*. – 2011. – № 159(5). – Pp. 1229-1233.

175. Boron accumulation and toxicity in hybrid poplar (*Populus nigra* × *euramericana*) / R. Rees, B. H. Robinson, M. Menon [et al.] // *Environmental science & technology*. – 2011. – Vol. 45, № 24. – pp.10538-10543.

176. Contrasting allocation of magnesium, calcium and manganese in leaves of tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) plants may explain their different extraction efficiency into tea / P. Pongrac, R. Tolrà, R. Hajiboland [et al.] // *Food and Chemical Toxicology*. – 2020. – Vol. 135. – P. 110974.

177. Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinio pseudo-acacia* L. / A. Celik, A. A. Kartal, A. Akdogan, Y. Kaska // *Environment International*. – 2005. – Vol. 31, № 1. – pp. 105-112.

178. Determination of Rare Earth Elements in multi-year high-resolution Arctic aerosol record by double focusing Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry with desolvation nebulizer inlet system / F. Giardi, R. Traversi, S. Becagli [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 613. – pp. 1284-1294.

179. Element composition of the leaves of some deciduous trees and the biological indication of heavy metals in an urban-industrial environment / M. Kovacs, J. Podani, P. Klincsek [et al.] // *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae*. – 1981. – Vol. 27. – pp. 43-52.

180. Eliasson L. Responses of Aspen Root to Auxins with Particular Regard to the Effects of *Chlorinated Phenoxyacetic Acids* // *Physiologia Plantarum*. – 1962. – Vol. 15, № 4. – pp. 753-763.

181. Eliasson L. Growth regulators in *Populus tremula* III. Variation of auxin and inhibitors level in relation to root sucker formation // *Physiologia Plantarum*. – 1971a. – Vol. 24, № 5. – pp. 263-267.

182. Eliasson L. Translocation of shoot-applied indolylacetic acid in roots of *Populus tremula* // *Physiologia Plantarum*. – 1972. – Vol. 27. – pp. 412-416.
183. Everett J. L. Comparative survey of lead at selected sites in the British Isles in relation to air pollution / J. L. Everett, C. L. Day, D. Reynolds // *Food and Cosmetics Toxicology*. – 1967. – № 5. – pp. 29-35.
184. Forest floor leachate fluxes under six different tree species on a metal contaminated site / L. Van Nevel, J. Mertens, An De Schrijver [et al.] // *Science of the total environment*. – 2013. – Vol. 447. – pp. 99-107.
185. Gromet L.P. The “North American Shale Composite”: Its Compilation, Major and Trace Element Characteristics/ Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1984. – Vol. 48, №. 12. – P. 2469–2482
186. Goodman G. T. Plants and soils as indicators of metals in the air / G. T. Goodman, T. M. Roberts // *Nature, Lond.* – 1971. – Vol. 231. – pp. 287-292.
187. Incidence of hyperaccumulation and tissue-level distribution of manganese, cobalt, and zinc in the genus *Gossia* (Myrtaceae) / F. Abubakari, P. N. Nkrumah, D. R. Fernando [et al.] // *Metallomics*. – 2021. – Vol. 13, № 4. – P. 8.
188. James T. D. W. Short-term effects of surface fire on the biomass and nutrient standing crop of *Populus tremuloides* in southern Ontario / T. D. W. James, D. W. Smith // *Canadian Journal of Forest Research*. – 1977. – Vol. 7, № 4. – pp. 666-679.
189. Kalubi K. N. Comparative analysis of metal translocation in red maple (*Acer rubrum*) and trembling aspen (*Populus tremuloides*) populations from stressed ecosystems contaminated with metals / K. N. Kalubi, M. Mehes-Smith, A. Omri // *Chemistry and Ecology*. – 2016. – Vol. 32, № 4. – pp. 312-323.
190. Lyapina E.E., Peregudina E.V. Mercury pressure in the Tomsk region based on biomonitoring studies // *Limnology and Freshwater Biology*. – 2022. – No 3. – P. 1292–1294.
191. Mandre M. Heavy metals uptake and accumulation by the hybrid aspen in alkalised soil // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2014. – Vol. 225, № 1. – pp. 1-9.

192. Markert B. Establishing of “Reference Plant” for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting / B. Markert // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 1992. – Vol. 64, № 3-4. – P. 533-538.

193. Markert B. A Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. – Weinheim: VCH, 1993. – 644 p

194. McColl J. G. Seasonal nutrient variation in trembling aspen // *Plant and Soil*. – 1980. – C. 323-328.

195. Migaszewski Z. The characteristics, occurrence, and geochemical behavior of rare earth elements in the environment: A review / Z. Migaszewski, A. Gałuszka // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. – 2015. – Vol. 45. – № 5. – P. 429–471.

196. Mulgrew A. Biomonitoring of air quality using plants / A. Mulgrew, P. Williams // *Air Hygiene Report No 10*. – Berlin : WHO CC Berlin, 2000. – 165 p.

197. Poplar tree (*Populus balsamifera* L.) as indicator of mercury emission from a point source / D. V. Yusupov, E. E. Lyapina, E. M. Tursunaliyeva [et al.] // *Chemosphere*. – 2022. – Vol. 287. – P. 132157.

198. Phytoextraction of potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge / M. Mleczek, P. Goliński, M. Krzesłowska [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2017. – Vol. 24, № 28. – pp. 22183-22195.

199. Rare earths and trace elements contents in leaves: a new indicator of the composition of atmospheric dust / P. Censi, F. Cibella, E.E. Falcone [et al.] // *Chemosphere*. – 2017. – Vol. 169. – pp. 342-350.

200. Spatially resolved localization of lanthanum and cerium in the rare earth element hyperaccumulator fern *Dicranopteris linearis* from China / W.-S. Liu, A. van der Ent, P. D. Erskine [et al.] // *Environmental science & technology*. – 2020. – Vol. 54, № 4. – pp. 2287-2294.

201. Rossini O. S. Review of cleaning techniques and their effects on the chemical composition of foliar samples / O. S. Rossini, H. Raitio // *Boreal Environment Research*. – 2003. – № 8. – pp. 263-272.

202. Spatial Distribution and Stability of Cholinesterase Inhibitory Protoberberine Alkaloids from *Papaver setiferum* / N. Safa, T. Trobec, D. C. Holland [et al.] // *Journal of natural products*. – 2021. – Vol. 85, № 1. – pp. 215-224.

203. Study of metal distribution from lignite fuels using trees as biological monitors / T. Sawidis, M. K. Chettri, A. Papaioannou [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2001. – № 48. – pp. 27-35.

204. Simultaneous hyperaccumulation of nickel and cobalt in the tree *Glochidion cf. sericeum* (*Phyllanthaceae*): elemental distribution and chemical speciation / A. Van Der Ent, R. Mak, M. D. de Jonge, H. H. Harris // *Scientific reports*. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 9683.

205. Soldatini G.F., Guidi L. Biochemical aspects of plant-air pollution interactions. In: Lorenzini G, Soldatini G.F., eds. *Responses of Plants to Air Pollution // Biological and Economic Aspects*. Pisa: Pacini. – 1994. – Pp. 23-38.

206. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities / T. Sawidis, J. Breuste, M. Mitrovic [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2011. – Vol. 159. – pp. 3560-3570.

207. The European Shale: An improved data set for normalisation of rare earth element and yttrium concentrations in environmental and biological samples from Europe/ M. Bau, K. Schmidt, A. Pack, V. Bendel // *Institutions*. – 2018. – *Applied Geochemistry* (Pergamon). – Vol. 90. – pp 142-149.

208. The fate of mercury and its relationship with carbon, nitrogen and bacterial communities during litter decomposing in two subtropical forests / M. Ma, H. Du, D. Wang [et al.] // *Applied Geochemistry*. – 2017. – Vol. 86. – C. 26-35.

209. Tomasevic M., Rajsic S., Dordevic D., Tasic M., Krstic J., Novakovic V. *Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas* Springer-Verlag. – 2004. – Pp. 151-154.

210. Verry E. S. Elements in leaves of a trembling aspen clone by crown position and season / E. S. Verry, D. R. Timmons // *Canadian Journal of Forest Research*. – 1976. – Vol. 6, № 3. – pp. 436-440.

211. Yusupov D. V. et al. Poplar tree (*Populus balsamifera* L.) as indicator of mercury emission from a point source // *Chemosphere*. – 2022. – Т. 287. – С. 132157.

#### Интернет-ресурсы

212. Анализатор ртути «РА-915М». – URL: [https://www.lumex.ru/files/17BRU08.02.01-1\\_web.pdf](https://www.lumex.ru/files/17BRU08.02.01-1_web.pdf) (дата обращения: 29.01.2024). – Текст : электронный.

213. Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации. – Текст : электронный // Информационная система Почвенно-географическая база данных России. – URL: <https://soil-db.ru/soilatlas> (дата обращения: 30.01.2024).

214. Климат и климатические ресурсы России. – URL: [http://geolike.ru/page/gl\\_3261.htm](http://geolike.ru/page/gl_3261.htm) (дата обращения: 05.05.2021). – Текст : электронный.

215. Таштагольское железорудное месторождение - Общая геология // *Vuzlit.com*. – 2017-2024. – URL: <https://vuzlit.com/> (дата обращения: 24.09.2022). – Текст : электронный.

216. Таштагольское месторождение - Подземная геотехнология // *Bstudy.net*. – 2017-2024. – URL: <https://bstudy.net/> (дата обращения: 24.09.2022) – Текст : электронный.

217. Томская область: официальный интернет-портал Администрации Томской области <https://tomsk.gov.ru/> (дата обращения: 30.01.2024). – Текст : электронный.

218. Осина - *Populus tremula* [растения]. – Текст : электронный // *Russian Permaculture.ru*. – 2013-2023. – URL: <https://russianpermaculture.ru/rastenia/osina-populus-tremula> (дата обращения: 14.05.202).