



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Агеева Елена Владимировна

**РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ И РАДИОАКТИВНЫЕ (Th, U)
ЭЛЕМЕНТЫ В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
КАК ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ
ОБСТАНОВОК (НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОЙ И
КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ)**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.21 – Геоэкология

Томск – 2022

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

Научный руководитель:

Барановская Наталья Владимировна

доктор биологических наук, доцент, профессор ОГ
ИШПР ТПУ

Официальные оппоненты:

Паничев Александр Михайлович

доктор биологических наук, кандидат геолого-
минералогических наук, ведущий научный
сотрудник Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Тихоокеанский
институт географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук, г. Владивосток

Страховенко Вера Дмитриевна

доктор геолого-минералогических наук, профессор
кафедры минералогии и геохимии геолого-
геофизического факультета Федерального
государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Новосибирский
национальный исследовательский государственный
университет», г. Новосибирск

Защита состоится «6» июня 2022 года в 10 часов 00 минут на заседании
диссертационного совета ДС.ТПУ.29 Национального исследовательского Томского
политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5,
корпус 20, аудитория 504

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет» и на сайте: dis.tpu.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДС.ТПУ.29

Барановская
Наталья Владимировна
д.б.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Повышенное внимание к изучению редкоземельных (РЗЭ) и радиоактивных (Th, U) элементов в последние десятилетия связывают с вступлением современного мира в «эпоху нанотехнологий» (Барашков, 2011), характерной чертой которой является их всестороннее применение (Brioschi, 2012; Gwenz et al., 2018; Balaram, 2019). Активное вовлечение РЗЭ в деятельность человека становится основным фактором, влияющим на их глобальный цикл (Hedrick, 1995). В настоящее время накоплено достаточно информации о физических и химических свойствах (Гавриленко, Сахоненок, 1986; Иванов, 1997; Титаева, 2000; Cotton, 2006; Щербаков и др., 2016; Отмахов и др., 2017), кристаллохимии и минералогии РЗЭ (Семенов, 1963; Геохимия, минералогия..., 1964; Минеев, 1969; Минеев, 1974; Солодов и др., 1987). Особенности электронного строения РЗЭ подтверждают целесообразность их разделения на подгруппы. Так, согласно Минееву (1974), их делят на легкие (ЛРЗЭ: La – Nd), средние (СРЗЭ: Sm – Ho) и тяжелые (ТРЗЭ: Er – Lu). Поведение РЗЭ достаточно хорошо изучено в эндогенных и экзогенных процессах (Евсеева, Перельман, 1962; Семенов, Холодов, 1966; Хэскин, 1968; Минеев, 1974; Балашов, 1976; Арбузов и др., 2000), установлена их индикаторная роль (Дубинин, 2006; Вах, 2012; Барановская и др., 2015 и др.), а также выявлены отдельные аспекты токсикологии РЗЭ (Балабуха, 1958; Щербаков и др., 2016; Вредные химические..., 1988; Ma et al., 2016; Rim, 2016; Щербаков и др., 2016; Lourenço et al., 2017; Adeel et al., 2019; Кожевникова, 2012; Котельникова, 2019 и др.). При этом остаются недостаточно изученными некоторые аспекты поведения редкоземельных и радиоактивных элементов в живом веществе биосферы, а также особенности их накопления в компонентах природной среды на локальных территориях.

Первые количественные определения РЗЭ, Th и U в живых организмах относятся к началу прошлого столетия (работы Виноградова А. П. (1932), Хоффмана Дж. (1942, 1943) и ряда других авторов). Имеется достаточно много зарубежных исследований, затрагивающих вопросы их накопления и распределения в объектах живой природы (Jowsey et al., 1958; Vocaturo et al., 1983; Boulyga et al., 1999; Anke et al., 2009; Zhuk, Kist, 1995; Zaichick et al., 2011; Dołęgowska, Migaszewski, 2013; Bosco-Santos et al., 2017; Wei et al., 2013; Meryem et al., 2016; Zhuang et al., 2017a; Zhuang et al., 2017b и др.). Из современных исследований следует отметить труды ученых Сибири и Востока, рассматривающих особенности концентрирования РЗЭ, Th и U в объектах живой и неживой природы (Рихванов, 1997, 2009; Архангельский, Рихванов, 2001; Арбузов, 2000, 2005; Жмодик и др., 1991; Москвитина, Кохонов, 2002; Kuranova et al., 2005; Киселева, 2007; Арбузов, Рихванов, 2011; Страховенко, 2011; Маликова, Страховенко, 2011; Tsoy, 2014; Восель, 2015; Барановская и др., 2015; Рудмин, Бушманов, 2015; Panichev, 2015; Panichev et al., 2016; Panichev et al., 2021; Щербаков и др., 2016; Радомская и др., 2017; Радомская и др., 2018; Гусева, 2018; Юсупов и др., 2019; Yusupov et al., 2020 и др.). Большая часть публикаций

посвящена особенностям накопления отдельных РЗЭ, Th и U, в то время как рассматривать данные элементы стоит вместе из-за их значительного геохимического сродства, обусловленного величиной их ионных радиусов, а также кислотнo-щелочными свойствами (Гринвуд, Эрншо, 2008) и, как следствие, возможного изоморфизма между собой (Солодов и др., 1987; Титаева, 2000; Арбузов, Рихванов, 2011; Барановская и др., 2015).

Томская и Кемеровская области представляют особый интерес вследствие присутствия потенциальных источников поступления РЗЭ, Th и U в живые организмы. Вовлечение данных элементов в трофические цепи может быть обусловлено наличием обогащенных ими угольных залежей Сибири (Юдович и др., 2004; Арбузов, 2005; Арбузов, Рихванов, 2009) и широко распространенных месторождений циркон-ильменитовых песков (Рихванов и др., 2001). Так же редкоземельные элементы обнаружены в нефти (Готтих и др., 2012). При этом отмечается значительная дифференцированность распределения редкоземельных элементов, обусловленная влиянием глубинных флюидов (Винокуров, Готтих и др., 2010; Пунанова, 2017). По данным некоторых исследований на изменение миграции и концентрирования данных элементов влияют и техногенные источники, в частности расположенные в пределах Северного промышленного узла г. Томска: объекты ядерно-топливного цикла – Сибирский химический комбинат (СХК), нефтехимической отрасли – ООО «Томскнефтехим» («Сибур») и другие (Экология северного..., 1994; Эколого-геохимические..., 2006; Рихванов, 2009; Барановская и др., 2015).

Таким образом, неоднозначное поведение в объектах живой природы и высокая индикаторная роль содержаний и соотношений РЗЭ, Th и U на локальных территориях с природно-техногенными геохимическими аномалиями обуславливает актуальность их изучения.

Целью работы является установление закономерностей накопления и распределения редкоземельных и радиоактивных (Th, U) элементов и их соотношений в живых организмах и среде их обитания в различных эколого-геохимических обстановках территорий Томской и Кемеровской областей.

Задачи исследований:

- ☐ Проанализировать имеющиеся данные о концентрировании редкоземельных элементов, Th и U объектами неживой и живой природы и провести их обобщение;
- ☐ Определить количественное содержание редкоземельных элементов, Th и U в компонентах природной среды (почва, лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim), биосубстраты человека) на территории Томской и Кемеровской областей, провести сравнительный анализ полученных результатов;
- ☐ Выявить особенности накопления и распределения редкоземельных элементов, Th и U в компонентах природной среды на территории Томской и Кемеровской областей и провести районирование территории;

□ Выявить индикаторную роль содержания и соотношения редкоземельных элементов, Th и U в живом веществе в условиях природных и техногенных обстановок.

Основные защищаемые положения:

1. На территории Томской и Кемеровской областей определены диапазоны содержаний 14 РЗЭ, Th и U в компонентах природной среды (система «почва-лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim)» и волосы человека). Установлено увеличение концентрации тяжелой подгруппы РЗЭ и U в волосах жителей Кемеровской области.

2. Районирование территорий Томской и Кемеровской областей по содержанию РЗЭ, Th и U в компонентах природной среды (почва, солевые отложения природных пресных вод (накись), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim), биосубстраты человека) позволяет выделить локальные группы районов с индикаторным спектром:

I группа – **Sm, Ce, Th, Eu;**

II группа – **Sm, Yb;**

III группа – **La, U, Yb, Lu, Th;**

IV группа – **U, Th, Ho, Tb, Gd.**

3. Индикаторами природно-техногенных условий территорий Томской и Кемеровской областей являются содержания и соотношения РЗЭ, Th и U в волосах человека и лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim). Это выражается в ретроспективном изменении состава в районах размещения предприятий ядерно-топливного цикла, наличии аномалии Eu в нефтегазодобывающих районах, концентрировании Th, U и подгруппы лёгких РЗЭ в угледобывающих районах, вариативности отношений легких к тяжелым РЗЭ в горнодобывающих районах.

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 рамках работы проведено обобщение 1277 проб по содержанию редкоземельных элементов, Th и U в объектах живой и неживой природы в сравнении с литературными данными. При личном участии автора на территории Томской и Кемеровской областей отобрано и проанализировано 323 пробы, включающих почву, лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) и волосы человека.

Количественное определение химических элементов проводилось с использованием инструментального нейтронно-активационный анализа (ИНАА) на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории (ЯГЛ) Национального исследовательского Томского политехнического университета (с.н.с. Судыко А.Ф., Богутская

Л.В.) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Инженерной школы природных ресурсов, ТПУ (к.г.-м.н. Хвощевская А.А., Куровская В.В) и аналитическом центре ООО «Химико-аналитический центр «Плазма», г. Томск (Федюнина Н.В.).

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб, которые были проанализированы современными высокочувствительными аналитическими методами (ИНАА, ИСП-МС) в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам с выполнением контрольных определений 5–10% проб изученных сред, а также глубиной проработкой фактического материала с применением современных методов статистической обработки и литературы по теме исследования.

Научная новизна. Впервые обобщены и выявлены закономерности содержания редкоземельных элементов, Th и U в объектах живой природы в их взаимосвязи с окружающей средой. Впервые проведено районирование территории Томской и Кемеровской областей по показателям частоты встречаемости статистически значимых аномальных содержаний. Получены новые данные по диапазонам содержаний всей группы редкоземельных элементов, за исключением прометия, за счет расширения спектра определяемых элементов в компонентах природной среды (почве, растениях, биосубстратах человека) посредством проведения ИСП-МС, на территории Кемеровской и Томской областей. Выявлена специфика соотношений РЗЭ, Th и U на территориях с природно-техногенными геохимическими аномалиями и установлены индикаторные показатели эколого-геохимических условий.

Практическая значимость. Получены диапазоны содержаний для 14 редкоземельных элементов, Th и U в объектах живой и неживой природы на территориях с разными эколого-геохимическими обстановками. Выявленные особенности накопления и распределения РЗЭ, Th и U в компонентах природной среды позволяют дифференцировать изученные территории по специфике эколого-геохимических обстановок. Результаты исследований могут быть полезны природоохранным службам, геологоразведочным организациям.

Данные, полученные в ходе исследования, были использованы при подготовке практических занятий по курсу: «Геохимия, геохимический мониторинг окружающей среды» в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета для подготовки магистров по направлению «Экология и природопользование», а также использованы в курсе «Геохимия живого вещества».

Апробация работы. Результаты полученных исследований представлены на Всероссийских и Международных конференциях и симпозиумах: Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2013–2021), Международная конференция «Радиоактивность и

радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2016; 2021), Всероссийская конференция «Геохимия ландшафтов (к столетию А.И. Перельмана)» (Москва, 2016), Международная конференция «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск, 2017), Всероссийская конференция с международным участием, посвящённая 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона (Иркутск, 2017), Международная школа-семинар «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах» (Тюмень, 2018), Всероссийский симпозиум «Минералогия и геохимия ландшафтов горнорудных территорий» (Чита, 2018), Международный симпозиум «Биогеохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы» (Тирасполь, 2020).

Публикации. Основные научные результаты опубликованы в 10 научных статьях, включая 4 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, три из которых опубликованы в журнале, индексируемом в базах данных Scopus и Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 144 страницах, дополнена 64 рисунками и 22 таблицами. Работа содержит 6 глав, введение, заключение, список литературы содержит 257 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 общая характеристика РЗЭ, Th и U и их медико-биологические свойства. В **второй главе** рассматриваются имеющиеся в литературе сведения о накоплении и распределении РЗЭ, Th и U в объектах живой и неживой природы. В **третьей главе** описываются методика отбора и подготовки проб, методы анализа, способы математической обработки данных и характеристика территории исследования. **Четвертая глава** посвящена общим закономерностям накопления и распределения РЗЭ, Th и U в живых объектах во взаимосвязи со средой обитания. В **пятой главе** рассматриваются закономерности накопления РЗЭ, Th и U в компонентах природной среды на территории природных районов Томской и Кемеровской областей. В **шестой главе** рассматриваются индикаторные показатели содержаний и соотношений РЗЭ, Th и U. В **заключении** представлены основные результаты по диссертационной работе.

Личный вклад. Автором выполнен отбор и анализ 323 проб, включающих почву, лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) и волосы человека, проведена подготовка к ИНАА, ИСП-МС, проведено обобщение ранее полученных сотрудниками отделения и научным руководителем результатов, включающих материалы по волосам и крови человека, почве и солевым отложениям природных пресных вод (накипь), тканям животных, общим количеством более тысяч проб. Автором проведена статистическая обработка всего объема данных, дана интерпретация полученных результатов и сформулированы защищаемые положения.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, доктору биологических наук, профессору отделения геологии Барановской Наталье Владимировне, за научное сопровождение, всестороннюю поддержку, понимание, мотивацию и помощь на всех этапах реализации работы. Особую благодарность автор выражает доктору геолого-минералогических наук, Рихванову Леониду Петровичу за ценные советы, рекомендации и всестороннюю помощь. Автор признателен за помощь всем сотрудникам бывшей кафедры ГЭГХ ТПУ. За ценные советы автор выражает отдельную признательность профессору, д.г.-м.н. Арбузову С.И., д.г.-м.н. Языкову Е.Г., к.г.-м.н. Соболеву И.С., к.г.-м.н. Соктоеву Б.Р. Автор благодарен за помощь в отборе проб растительного материала аспиранту ОГ ИШПР Горбатюк Е.А. и предоставленный для анализа материал органов и тканей млекопитающего (Свинья домашняя (*Sus Scrofa domesticus*)) к.г.-м.н., Ph.D Белянской А.И. Особую благодарность за проведение аналитических исследований с.н.с Судыко А.Ф. и Богутской Л.В., а также сотрудникам проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии ИШПР и лично к.г.-м.н. Хвощевской А.А. Автор благодарен сотрудникам ГЕОХИ РАН и лично Ермакову В.В. за поддержку и помощь, оказанную при проведении стажировки в Лабораторию биогеохимии окружающей среды «Биогел» и работе с архивом Вернадского В.И. и Виноградова А.П. Автор признателен сотрудникам ТИГ ДВО РАН и ДВГИ ДВО РАН за ценные советы и рекомендации.

Диссертационная работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90061 «Проявленность техногенных объектов в показателях содержания и соотношения редкоземельных и радиоактивных элементов в компонентах природной среды территории Томской и Кемеровской областей» (2019), РФФИ в рамках проекта № 20-64-47021 «Влияние литолого-геохимической специфики горных ландшафтов Сибири и Дальнего Востока на формирование элементного состава организма млекопитающих» (2020), Фонда Михаила Прохорова в рамках конкурса «Академическая мобильность» (2017 г.).

Защищаемые положения

ПОЛОЖЕНИЕ 1. *На территории Томской и Кемеровской областей определены диапазоны содержаний 14 РЗЭ, Th и U в компонентах природной среды (система «почва-лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim)» и волосы человека). Установлено увеличение концентрации тяжелой подгруппы РЗЭ и U в волосах жителей Кемеровской области.*

Обобщение литературных и собственных данных, показывает, что сумма 7 РЗЭ (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) закономерно снижается от объектов неживой природы к живым объектам. Согласно литературным данным, в неживых объектах содержания РЗЭ изменяются от 1,7 мг/кг в хондритовых метеоритах (Хэскин, 1968) до 421 мг/кг в магматических горных породах (Kabata-

Pendias, 2011). Наши данные свидетельствуют о том, что на территории Томской области значения варьируют от 0,17 мг/кг в солевых отложениях природных пресных вод (накипь) до 156 мг/кг в почве. Содержание РЗЭ в живом веществе варьирует в широких диапазонах, что обусловлено влиянием различных факторов. Так, в организме человека, подвергавшегося профессиональному воздействию или проживающего в районе добычи полезных ископаемых, содержащих элементы группы лантаноидов, значения суммы РЗЭ достигают 217 мг/кг (Vocaturo et al, 1983; Wei et al., 2013; Li et al., 2014; Meryem et al., 2016). Как наши, так и литературные данные показывают, что на территории Томской области содержание РЗЭ в живом веществе изменяется от 0,04 мг/кг в скорлупе яиц птиц (*Turdus pilaris*) (Барановская, Куранов, 2016) до 94 мг/кг в микроорганизмах минеральных источников (Барановская, 2011).

Комплексное изучение закономерностей накопления и распределения химических элементов в окружающей среде невозможно без рассмотрения объектов живой и неживой природы в единстве, что было отмечено еще Вернадским В. И. (1994). Для двух областей (Томская и Кемеровская) нами определены диапазоны содержаний 14 редкоземельных и 2 радиоактивных (Th, U) элементов для системы «почва-лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim)» (рис. 1). Распределение элементов отражает правило Оддо-Гаркинса: элементы с четным атомным номером более распространены, чем элементы с нечетным атомным номером. Значения для почв не превышают диапазоны РЗЭ, характерные для почв мира по данным Кабата-Пендиас, Пендиас (1989). Результаты для лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) соответствуют обобщённым литературным данным, согласно которым содержание РЗЭ в растениях значительно варьирует (Котельникова и др., 2021).

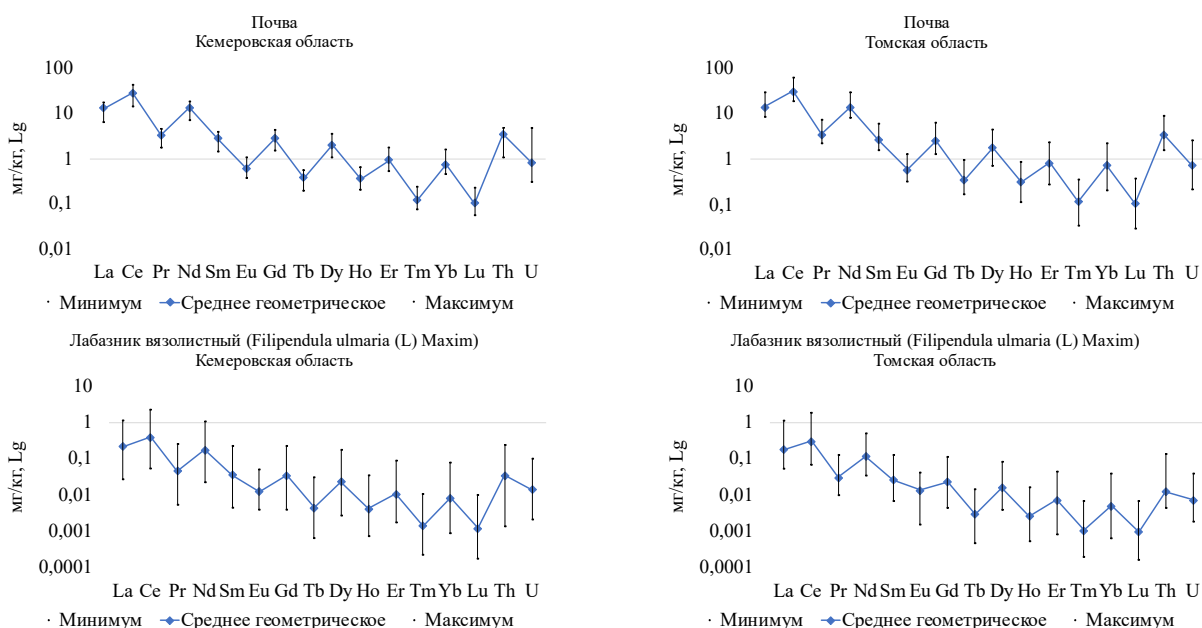


Рисунок 1 Диапазоны содержаний РЗЭ, Th и U

Для устранения характерного для РЗЭ распределения и определения отдельных аномалий, концентрации РЗЭ нормализуют к эталонным образцам (Bau 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 (рис. 2) показал, что почвы двух областей (Томская, Кемеровская) характеризуются однородным и схожим распределением. Почвы Томской области характеризуются незначительным преобладанием легкой подгруппы РЗЭ, а Кемеровской области – средней и тяжелой подгрупп РЗЭ. В лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) (рис. 2) фиксируются положительные аномалии европия: Томская область – $\delta Eu=2,4$, Кемеровская область – $\delta Eu=1,5$ и схожее для двух регионов распределение. Территория Кемеровской области характеризуется большим концентрированием РЗЭ в растении. Показатель $LPZЭ/TPZЭ_{NASC}$ в почве и лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) имеет близкие значения, с некоторым снижением на территории Кемеровской области.

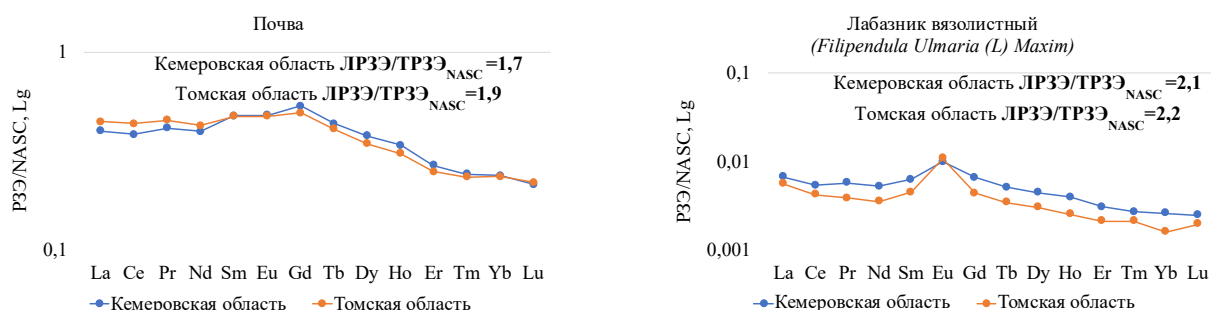


Рисунок 2 Кривые распределения РЗЭ, нормированные на NASC

Коэффициенты биологического поглощения (КБП) (содержание РЗЭ, Th и U в золе растения относительно их содержания в почве) в надземной части лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) имеют значения ниже 1 (рис. 3а), что свидетельствует об отсутствии интенсивного накопления из почвенных растворов. На территории Кемеровской области, по сравнению с Томской, элементы более активно поглощаются надземной частью, за исключением Eu. КБП, рассчитанный для надземной и корневой части лабазника на территории Кемеровской области, показывает наличие барьерной функции в корневой части, где отмечается максимальное поглощение всех рассматриваемых элементов (рис. 3б).

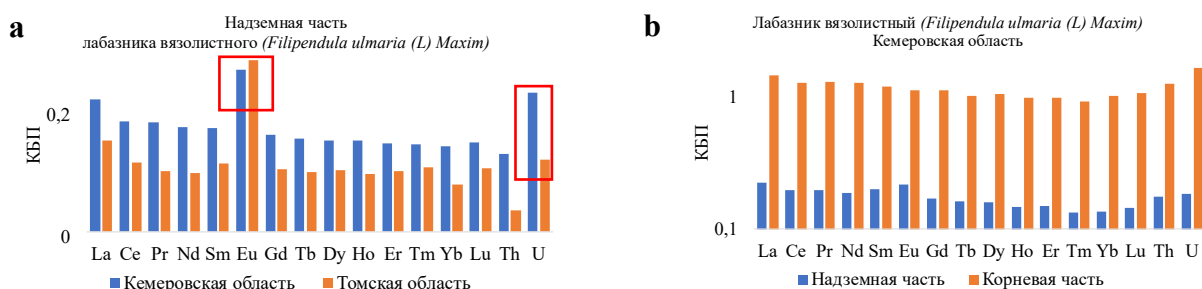


Рисунок 3 Коэффициенты биологического поглощения (КБП) РЗЭ, Th и U

Нами отмечена некоторая разница в накоплении РЗЭ, Th и U в живом веществе на территории рассматриваемых областей. Так, для территории Томской области характерным

является концентрирование Eu, в то время как, для Кемеровской области характерно более высокое концентрирование U, что отражается в КБП для лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) и в фактическом содержании для волос жителей Кемеровской области. В целом диапазоны содержаний 14 РЗЭ Th и U в волосах жителей двух областей (рис. 4) соответствуют правилу Оддо-Гаркинса, при этом отмечается сильный разброс содержаний и коэффициентов вариации, достигающих 181%. Относительно литературных данных (Саеи и др., 1990; Wei et al., 2013; Li et al., 2014) значения для волос двух рассматриваемых областей низкие.

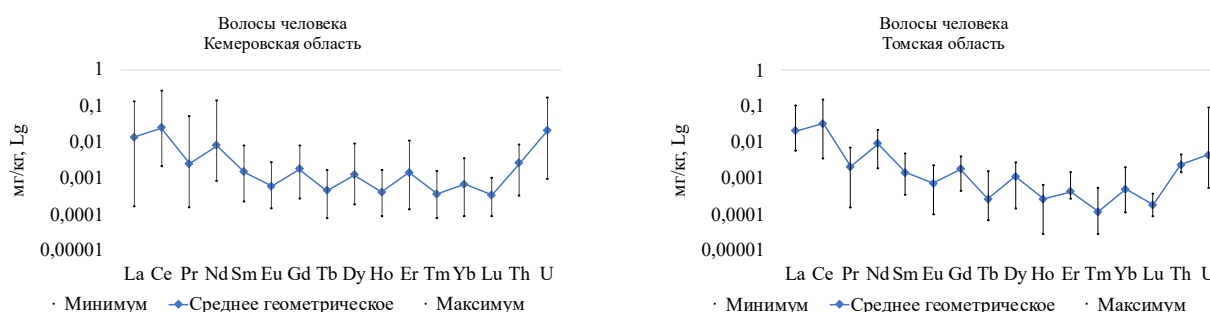


Рисунок 4 Диапазоны содержаний РЗЭ, Th и U

Волосы человека характеризуются более неоднородным распределением, с преобладанием тяжелой подгруппы РЗЭ на территории Кемеровской области. Особенно ярко показывает показатель LP_{REE}/TP_{REE}_{NASC} , который на территории Кемеровской области равен 0,6, а на территории Томской области 1,6. Фиксируются положительные европиевые аномалии: $\delta Eu=2,0$ на территории Томской области и $\delta Eu=1,6$ на территории Кемеровской области. Анализ коэффициентов концентрации РЗЭ, Th и U (относительно кларка ноосферы (Глазовская, 1988)) также подтверждает, что на территории Томской области в большей степени преобладаем подгруппа легких РЗЭ, а на территории Кемеровской области – тяжелые РЗЭ и U (рис. 5).

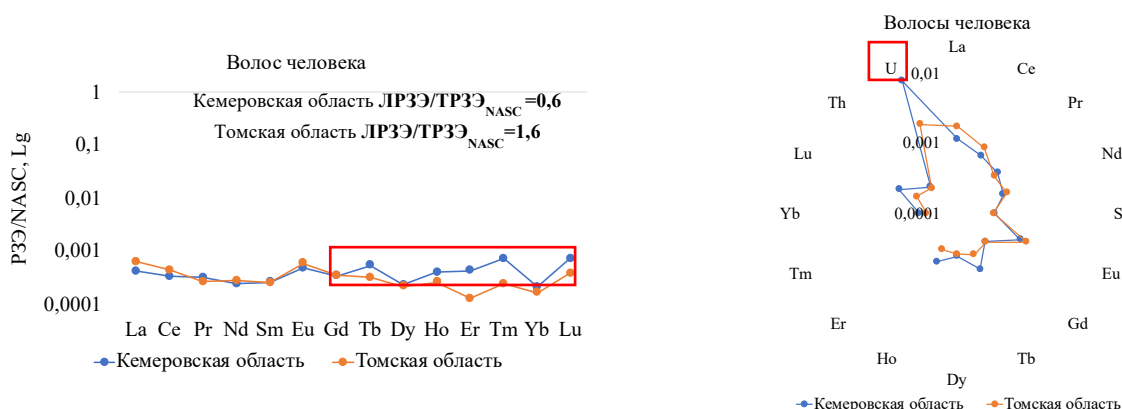


Рисунок 5 Кривые распределения РЗЭ, нормированные на NASC и содержания элементов относительно кларка ноосферы (Глазовская, 1988)

Анализ корреляционных связей химических элементов в составе волос (рис. 6) показал, что на территории Кемеровской области значимые связи образуются с подгруппой тяжелых РЗЭ, (критическое значение 0,423 для 22 проб при уровне ошибки $p=0,05$). В то время как территория

Томской области более характерным является наличие значимых корреляционных связей с легкой подгруппой РЗЭ (критическое значение 0,316 для 39 проб при уровне ошибки $p=0,05$).

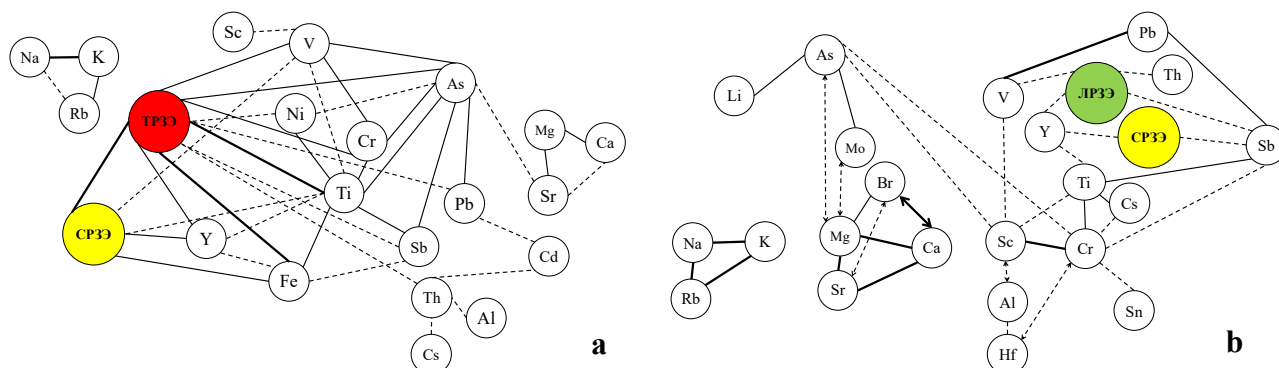


Рисунок 6 Корреляционные взаимосвязи химических элементов в составе волос жителей Кемеровской области (а); Томской области (б)

Примечание: Сплошной жирной линией показаны основные взаимосвязи на уровне значимости 0,9, сплошной тонкой – на уровне 0,8; штриховой – на уровне 0,7, стрелками – отрицательные корреляции

В целом для живого вещества отмечается более неоднородное концентрирование изученных элементов как по литературным данным, так и на локальных территориях, что может являться основой для проведения геоэкологического мониторинга и районирования.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Районирование территорий Томской и Кемеровской областей по содержанию РЗЭ, Th и U в компонентах природной среды (почва, солевые отложения природных пресных вод (накись), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim), биосубстраты человека) позволяет выделить локальные группы районов с индикаторным спектром:

I группа – Sm, Ce, Th, Eu;

II группа – Sm, Yb;

III группа – La, U, Yb, Lu, Th;

IV группа – U, Th, Ho, Tb, Gd.

Для районирования Томской и Кемеровской областей по уровням содержания РЗЭ, Th и U нами был применен подход, охватывающий большие по площади территории, а именно природные районы, согласно физико-географическому районированию Западной Сибири, предложенному Г.Г. Григор и А. А. Земцовым (1961), объединенные нами в группы районов (рис. 7). Были выделены 4 крупных группы районов: **I** (Юганский (3), Васюганский (12), Бакчарско-Чаинский (13) районы (22)); **II** (Нижне-Кетский (14) и Кетско-Чулымский (15) районы); **III** (Шегарский районы (22), Томский (23), Кия-Яйский (24) Четь-Тегульдетский (25) районы); **IV** (Салаирский (43), Кузнецкий (44), Бериккульско-Тисульский (45) районы).

Каждый изученный компонент природной среды характеризуется своим геохимическим спектром. Для комплекса компонентов природной среды (почва, накипь, волосы и кровь человека) были выделены общие элементы, концентрирующиеся во всех объектах. На территории I группы районов – Sm, Ce, Th, Eu; на территории II группы районов – Sm, Yb; на территории III группы районов – La, U, Yb, Lu, Th; на территории IV группы районов – U, Th, Ho, Tb, Gd (табл. 1).

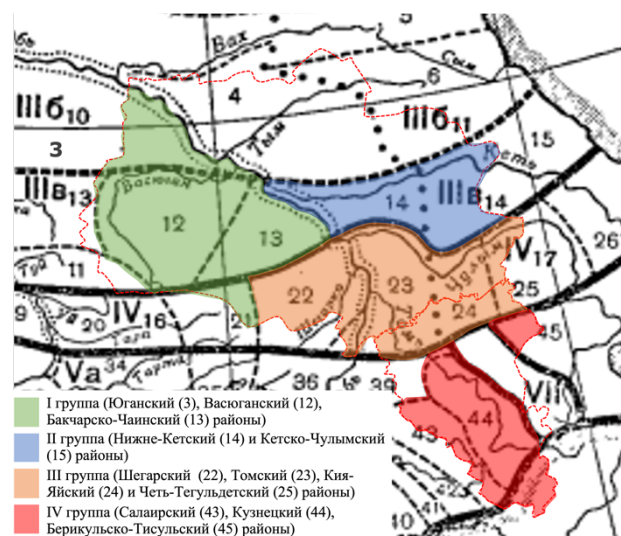


Рисунок 7 Физико-географические районы Западной Сибири (Григор, Земцов, 1961) (с дополнениями автора)

Таблица 1 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U в компонентах природной среды групп районов

Группы районов	Кк (относительного среднего по выборке)	Компоненты природной среды
I	Sm1,3; Tb1,3; Th1,3; La1,2; Ce1,2; Eu1,2; U1,2; Yb1,1; Lu1,1	почва
	Eu1,7; Sm1,5; Th1,4; Tb1,1; Ce1; Lu1; Yb0,8; La0,7; U0,5	накипь
	Eu1,3; Yb1,2; Th1,2; Sm1,1; Ce1; Tb0,9; U0,9; Lu0,8; La0,4	кровь
	Sm1,5; Ce1,3; U0,9; Tb0,8; Yb0,8; Lu0,8; Th0,8; La0,7; Eu0,5	волос
II	Lu1; Sm1; Yb1; La0,7; Ce0,7; Eu0,7; Tb0,7; U0,7; Th0,6	почва
	Eu6,4; Th5; Sm4; Lu3,3; Yb2,6; Tb2,5; La2,3; Ce2; U1,2	накипь
	La1,4; Sm1,2; Tb0,9; Th0,9; Eu0,6; Lu0,6; U0,6; Yb0,5; Ce0,4	кровь
	Yb1,4; Ce1; Eu0,8; Tb0,8; Th0,7; Lu0,4; U0,4; La0,3; Sm0,1	волос
III	La1; Yb1; Lu1; U1; Th1; Ce0,9; Sm0,9; Eu0,9; Tb0,9	почва
	U1,3; La1,1; Yb1; Ce0,9; Tb0,9; Lu0,9; Sm0,8; Th0,8; Eu0,7	накипь
	La1,4; Lu1,1; U1,1; Ce1; Sm1; Tb1; Th1; Eu0,9; Yb0,9	кровь
	La1,4; Eu1,3; Lu1,3; Sm1,2; U1,2; Tb1,1; Yb1,1; Th1,1; Ce0,9	волос
IV*	U1,1; Ho1; Dy1; Er1; Gd1; Tb1; Tm1; Yb1; Sm1; Eu1; Lu1; Th1; Nd1; Pr1; La1; Ce1	почва
	U2,8; Th1,1; Ho1,1; Tb1; Gd1; Tm0,9; Lu0,9; Dy0,9; Ce0,9; Nd0,9; La0,9; Pr0,9; Er0,8; Eu0,8; Yb0,8; Sm0,7	накипь
	U1,7; Er1,3; Ho1,2; Tb1,2; Lu1,2; Tm1,1; Yb1,1; Pr1,1; Dy1; Th1; Sm1; Gd1; Nd1; Eu0,9; Ce0,9; La0,9	волос

Примечание: жирным выделены элементы с $Kk > 1$; красным – элементы, повторяющиеся в 4-х компонентах природной среды; зеленым – элементы, повторяющиеся в 3-х компонентах природной среды; с * – для территории IV группы районов Kk посчитаны по результатам масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС)

На территории I группы районов содержание Sm и Ce в почве и волосах человека, Th и Eu в почве и крови человека значимо выше ($p < 0,050$) и уменьшается к III и II группам районов соответственно. В процентном соотношении основной вклад в общее количество аномальных содержаний в живом веществе на данной территории, рассчитанных по формуле: $C_a = X \cdot \varepsilon$ (где X – среднее геометрическое содержание элемента; ε – стандартный множитель, антилогарифм стандартного отклонения) вносят Ce, Sm, Eu, Th (рис. 8).

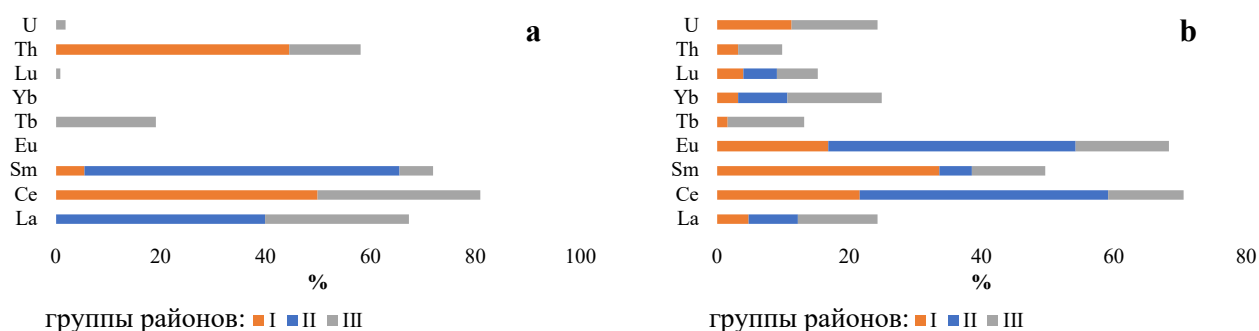


Рисунок 8 Вклад элементов в полученные аномалии в крови (а) и волосах (б) человека

Рассмотрение соотношений элементов позволило выделить населённые пункты с максимальными содержаниями легких и средних РЗЭ. При рассмотрении почвы и волос человека, выделяется территория Бакчарского района (I группа) (рис. 9). В подземных водах Бакчарского района РЗЭ определены в незначительных концентрациях, при этом, повышенные концентрации La зафиксированы в н.п. Коломинские Гривы и Усть-Бакчар (Иванова, Лепокурова, 2015). Так же на данной территории установлены площади распространения ильменит-цирконовых россыпей, особенностью которых являются высокие содержания Th и РЗЭ (Черняев и др., 2001; Рихванов и др., 2001) и фиксируются фосфаты РЗЭ (Rudmin et al., 2019; Перегудина, Домаренко, 2016).

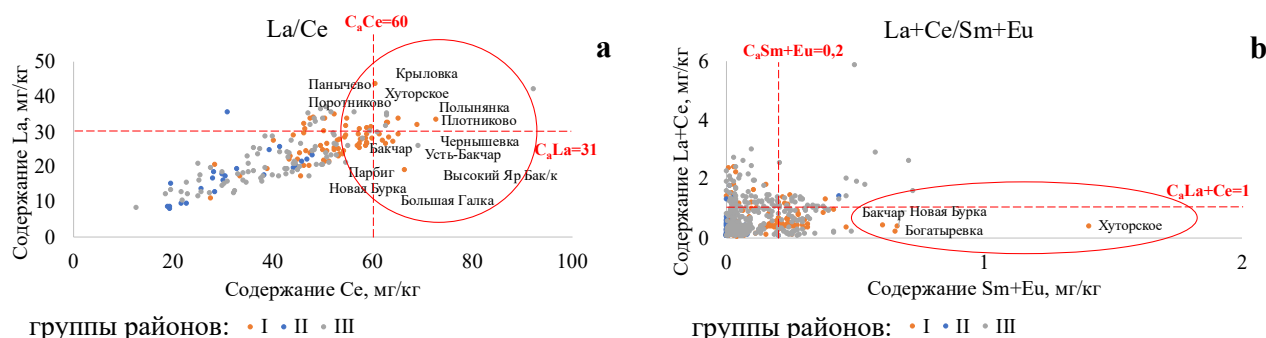


Рисунок 9 Распределение населенных пунктов по отношениям РЗЭ в почве (а) и волосах человека (б)

Примечание: C_a - статистически значимое аномальное содержание элементов

Дополнительно были рассмотрены особенности концентрирования РЗЭ, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim). Относительно среднего по выборке выделяются Eu, Ce, Sm, относительно среднего по В. Markert (1992) – Eu и Th, что согласуется с ранее полученными результатами по комплексу компонентов (табл. 2).

Таблица 2 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) групп районов

Кк (относительного среднего по выборке)	Кк (относительно В. Markert, 1992)
Eu 2,5; La 1,4; Ce 1,4; Sm 1,3; Pr 1,1; Nd 1,1; Tb 1,1; Gd 1; Tm 1; Dy 1; Ho 1; Yb0,9; Er0,9; U0,7; Lu0,7; Th0,5	Eu 2,2; Th 1,8; La 1; Sm0,7; Ce0,7; Pr0,7; Nd0,6; U0,6; Gd0,6; Dy0,5; Tb0,4; Ho0,4; Er0,3; Lu0,3; Tm0,3; Yb0,3

Примечание: жирным выделены элементы с $K_k > 1$; красным – элементы, повторяющиеся в 4-х компонентах природной среды (табл. 1); зеленым – элементы, повторяющиеся в 3-х компонентах природной среды (табл. 1)

На территории I группы отмечается максимальная положительная аномалия европия. Повышенные содержания легких и средних РЗЭ фиксируются в н.п. Александровское, вахтовом поселке Пионерный и вдоль реки Васюган (рис. 10).

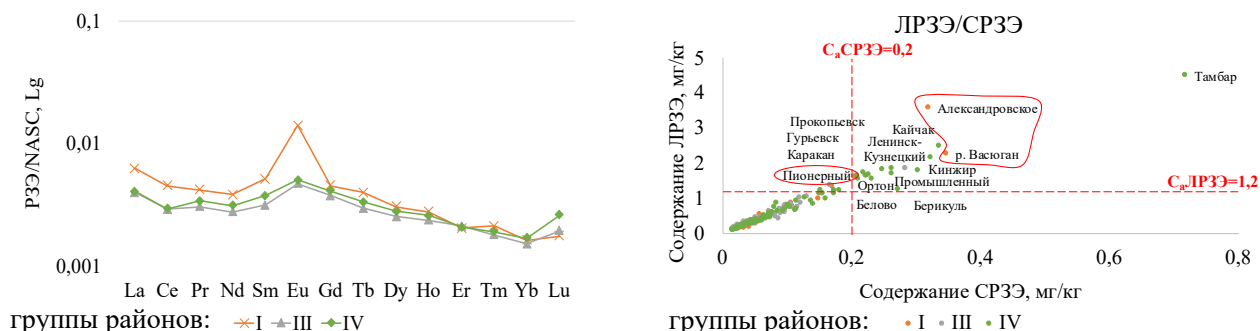


Рисунок 10 Кривые распределения РЗЭ, нормированные на NASC и распределение населенных пунктов по отношениям РЗЭ в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim)

Примечание: C_a - статистически значимое аномальное содержание элементов

II группа районов характеризуется более высокими содержаниями Sm в накипи и крови человека и Yb в накипи и волосах человека с уменьшением на других территориях (рис. 11). Повышенные содержания тяжелых РЗЭ зафиксированы в почвах н.п. Комсомольск (Первомайский район) II группы (рис. 12). Солевые отложения природных пресных вод (накипь) из н.п. Степановка и Клюквинка (II группы) характеризуются повышенными содержаниями средних РЗЭ (рис. 12).

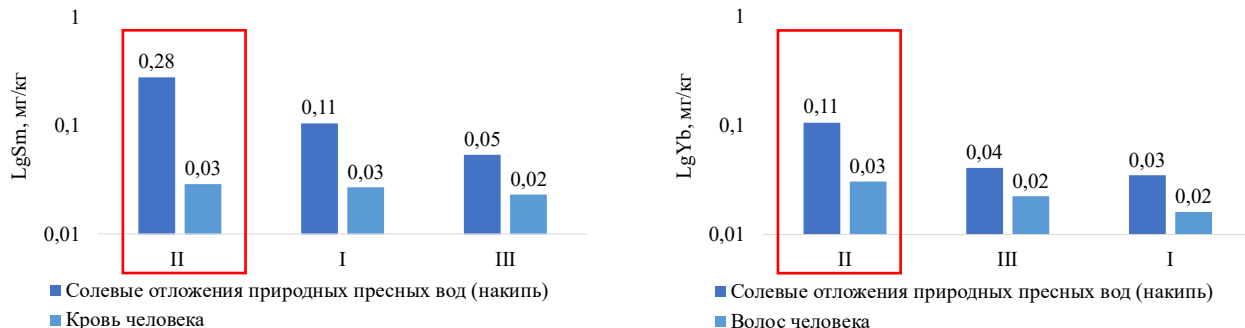


Рисунок 11 Содержание Sm и Yb в солевых отложениях питьевых вод (накипь), волосах и крови человека

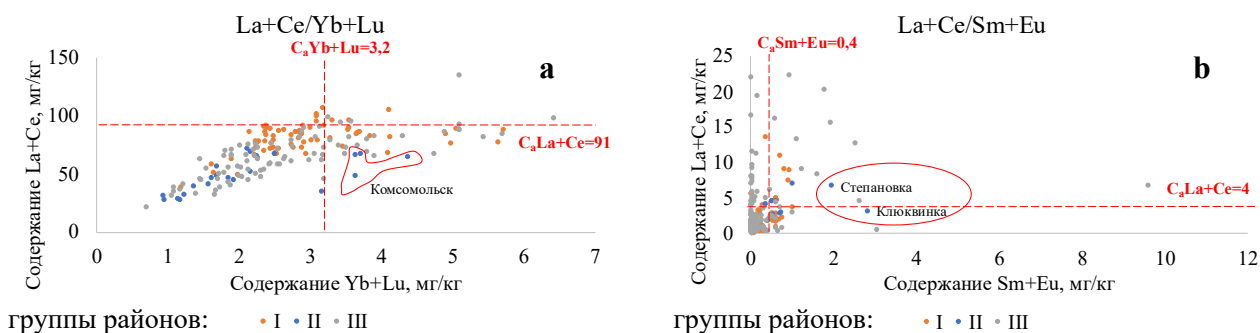


Рисунок 12 Распределение населенных пунктов по отношениям РЗЭ в почве (а) и солевых отложениях природных пресных вод (накипь) (б)

Примечание: C_a - статистически значимое аномальное содержание элементов

На концентрирование РЗЭ, Th и U на территории III группы районов оказывают влияние как природные, так и техногенные источники поступления элементов (Рихванов, 1997; Шатилов 2001; Эколого-геохимические..., 2006; Язиков, 2006; Барановская, 2011 и др.). Волосы жителей данной территории характеризуются накоплением La, Lu (рис. 13). Содержание U (рис. 13) в накипи и крови человека значимо выше ($p < 0,050$) на территории III группы в сравнении с другими территориями. Вклад в общее количество аномальных содержаний на данной территории вносят La, Yb, Lu, Th, U (рис. 8). Выделяются н. п. в зоне Северного промышленного узла (СПУ): Наумовка, Георгиевка, Козюлино, Самусь, Моряковский Затон, Орловка, в которых фиксируются повышенные содержания Th и тяжелых РЗЭ в волосах человека (рис. 14).

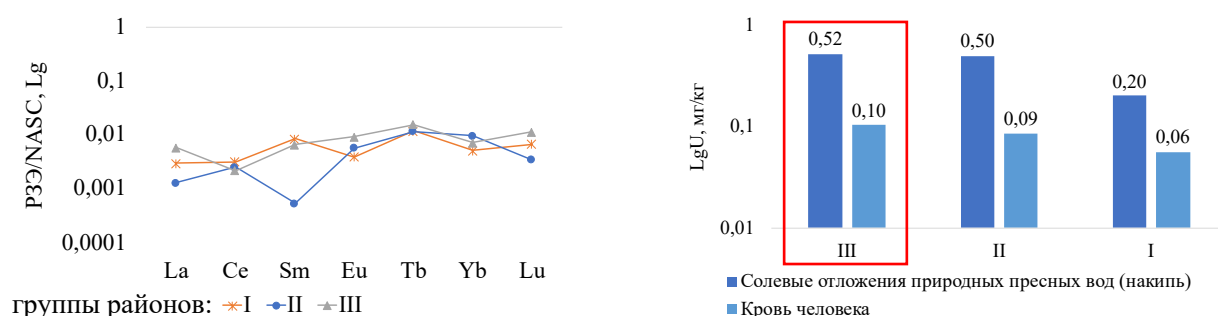


Рисунок 13 Кривые распределения РЗЭ, нормированные на NASC в волосах человека и содержание U в солевых отложениях питьевых вод (накипь) и крови человека

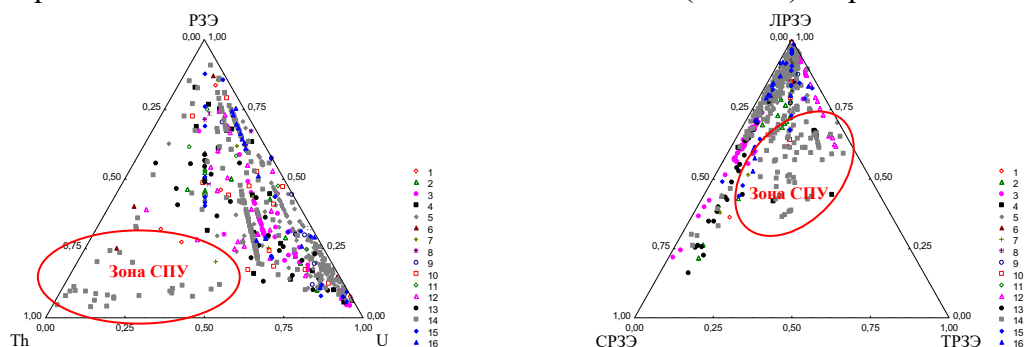


Рисунок 14 Тройная диаграмма соотношения Th-U-РЗЭ (а) и ЛРЗЭ-СРЗЭ-ТРЗЭ (б) в волосах жителей Томской области:

1-Александровский; 2-Асиновский; 3-Бакcharский; 4-Верхнекетский; 5-Зырянский; 6-Каргасокский; 7-Кожевниковский; 8-Колпашевский; 9-Кривошеинский; 10-Молчановский; 11-Парабельский; 12-Первомайский; 13-Тегульдетский; 14-Томский; 15-Чаинский; 16-Шегарский

При рассмотрении особенностей накопления РЗЭ, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) территория III группы районов включала помимо юга Томской области, часть Кемеровской области (рис. 7). Относительно среднего по выборке и среднего по В. Markert (1992) в лабазнике аккумулируется Th (табл. 3), что согласуется с результатами по комплексу компонентов (табл. 1). Фактические содержания Th значимо выше ($p < 0,050$) на территории III группы в сравнении с другими территориями (рис. 15). По Th/U отношению выделяются н.п. Копылово, Зональная Станция, Постниково, Новомихайловка (III группа) с повышенным содержанием Th (рис. 15).

Таблица 3 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) групп районов

Кк (относительного среднего по выборке)	Кк (относительно В. Markert, 1992)
Th1,1 ; Er0,9; La0,9; Ce0,9; Tm0,9; Ho0,9; Gd0,8; Dy0,8; Pr0,8; Yb0,8; Nd0,8; Tb0,8; Eu0,8; U0,8; Sm0,8; Lu0,8	Th3,7 ; Eu0,7; U0,6; La0,6; Gd0,5; Pr0,5; Nd0,5; Sm0,4; Dy0,4; Ce0,4; Er0,4; Tb0,3; Lu0,3; Ho0,3; Yb0,2; Tm0,2

Примечание: жирным выделены элементы с $K_k > 1$; зеленым – элементы, повторяющиеся в 3-х компонентах природной среды (табл. 1)

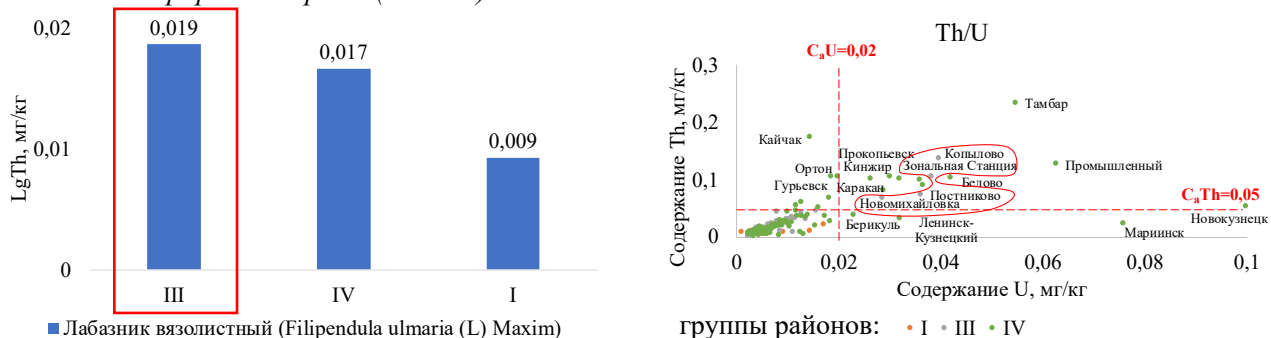


Рисунок 15 Содержание Th и распределение населенных пунктов по отношениям Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim)

Примечание: C_a - статистически значимое аномальное содержание элементов

Анализ комплекса компонентов природной среды, включающий почву, напиль и волосы человека, позволил выделить общие элементы, концентрирующиеся на территории IV группы районов – U, Th, Ho, Tb, Gd (табл. 1). В лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) относительно среднего по выборке аккумулируются U, Gd, Tb, Ho, Th, относительно В. Markert (1992) – Th, U (табл. 4). На территории IV группы районов по Th/U отношению можно выделить н.п. с повышенным содержанием Th – Кайчак, Гурьевск, Ортон; с повышенным содержанием U – Ленинск-Кузнецкий, Новокузнецк, Беркуль, Мариинск; и повышенным содержанием Th и U – Караган, Прокопьевск, Промышленный, Кинжир, Тамбар. В данных населенных пунктах также фиксируются повышенные содержания средних РЗЭ (рис. 10; 15).

Таблица 4 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) групп районов

Кк (относительного среднего по выборке)	Кк (относительно В. Markert, 1992)
Lu1,1; U1,1; Sm1; Nd1; Gd1; Pr1; Yb1; Dy1; Tb1; Ho1; Th1; Tm1; La1; Eu1; Ce1; Er1	Th3,3; U1 ; Eu0,8; La0,7; Pr0,5; Sm0,5; Gd0,5; Nd0,5; Dy0,5; Ce0,4; Lu0,4; Tb0,4; Er0,4; Ho0,3; Yb0,3; Tm0,2

Примечание: жирным выделены элементы с $K_k > 1$; зеленым – элементы, повторяющиеся в 3-х компонентах природной среды (табл. 1)

Таким образом, геоэкологический подход к делению территории Томской и Кемеровской областей с учетом аномальных содержаний редкоземельных и радиоактивных (Th, U) элементов в компонентах природной среды в разных природно-техногенных условиях локальных районов позволили выявить специфично накапливающиеся элементы.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Индикаторами природно-техногенных условий территорий Томской и Кемеровской областей являются содержания и соотношения РЗЭ, Th и U в

волосах человека и лабазнике вязолистном (Filipendula ulmaria (L) Maxim). Это выражается в ретроспективном изменении состава в районах размещения предприятий ядерно-топливного цикла, наличии аномалии Eu в нефтегазодобывающих районах, концентрировании Th, U и подгруппы лёгких РЗЭ в угледобывающих районах, вариативности отношений легких к тяжелым РЗЭ в горнодобывающих районах.

Высокая неоднородность в концентрировании живым веществом редкоземельных и радиоактивных элементов указывает на чувствительность данных объектов к изменению эколого-геохимических условий природной среды. Поэтому для выявления специфики техногеоза стоит обратить внимание именно на живое вещество и его особенность избирательного концентрирования химических элементов. В работе были выбраны два объекта: лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria (L) Maxim*) и волосы человека. Для установления влияния природно-техногенных условий на элементный состав живого вещества населенные пункты были условно разделены на следующие районы: нефтегазодобывающий, угледобывающий, горнодобывающие районы (Урск, Комсомольск) и район с предприятиями ядерно-топливного цикла.

Нефтегазодобывающий район включал территорию севера Томской области (н.п. Александровское; вахтовые поселки Игол, Пионерный; территорию вдоль рек Сукача, Васюган). Данная территория характеризуется максимальной концентрацией суммы РЗЭ (1,1 мг/кг) в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria (L) Maxim*) с уменьшением на территории горнодобывающих районов (Комсомольск – 0,37 мг/кг; Урск – 0,26 мг/кг). Отмечаются значимо высокие ($p < 0,050$) концентрации La, Ce, Eu, что подтверждается результатами нормирования содержаний редкоземельных и радиоактивных элементов как к среднему по В. Markert (1992), так и к среднему по всей выборке (табл. 5). Зафиксирован максимум Eu аномалии ($\delta Eu = 2,7$) в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria (L) Maxim*), что отмечается так же и в волосах человека ($\delta Eu = 2,2$) с этой территории (рис. 16). Появление выраженной положительной Eu аномалии и дифференцированное распределение РЗЭ различные исследователи связывают с глубинными процессами (Готтих, Писоцкий, Винокуров 2009, 2010, 2012), что наблюдается как в нефтях, так и в подземных водах нефтегазоносных районов (Пунанова, 2017; Новиков и др., 2019).

Таблица 5 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria (L) Maxim*) на территории нефтегазодобывающих районов

Кк (относительного среднего по выборке)	Кк (относительно В. Markert, 1992)
Eu2,7; Ce1,9; La1,8; Nd1,4; Pr1,4; Sm1,4; Tb1,4; Dy1,4; Gd1,3; Ho1,3; Tm1,3; Yb1,2; Er1,1; Lu0,9; U0,9; Th0,4	Eu2,4; Th1,4; La1,3; Ce1,0; Pr0,8; Nd0,8; Sm0,8; Gd0,8; Dy0,7; U0,7; Tb0,5; Ho0,5; Er0,5; Lu0,4; Tm0,3; Yb0,3

Примечание: жирным шрифтом выделены элементы с $Kk > 1$, красным – одинаковые элементы, повторяющиеся при нормировании к разным показателям

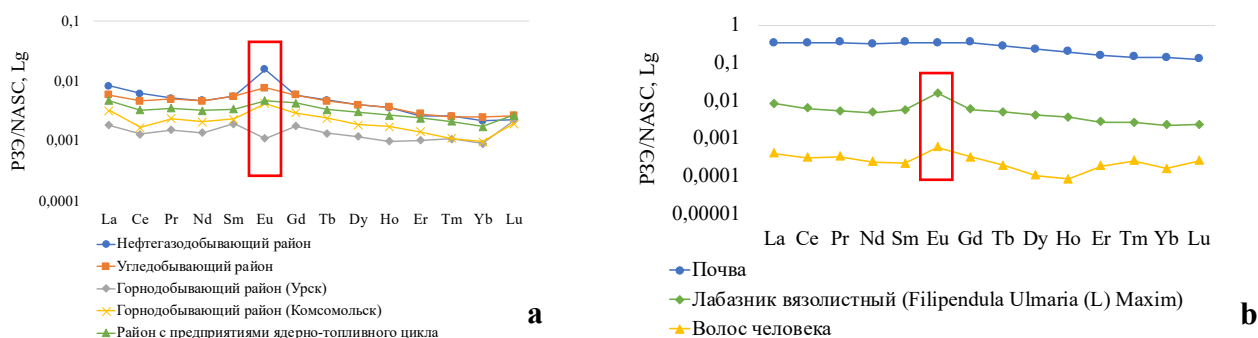


Рисунок 16 Кривые распределения РЗЭ, нормированные на NASC в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria (L) Maxim*) (a) и в компонентах природной среды на территории нефтегазодобывающих районов (b)

Угледобывающий район включал н.п. Кемеровской области, относящиеся к Кузнецкому угольному бассейну и н.п. Семеновка (Томская область), ввиду наличия естественного Яйского буроугольного проявления. Данная территория характеризуется концентрированием легких РЗЭ, Th, U в живом веществе (табл. 6). Фактические содержания данных элементов превышают литературные показатели в н.п., расположенных в зонах распространения угольных залежей (Промышленный, Ленинск-Кузнецкий, Белово, Каракан, Краснобродский, Бачатский, Прокопьевск, Новокузнецк, Междуреченск, Гавриловка, Ортон, Семеновка). Это согласуется с данными по распределению РЗЭ в углях Кузбасса (Арбузов, 2000).

Таблица 6 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U на территории угледобывающих районов

	Кк (относительного среднего по выборке)	Кк (относительно В. Markert, 1992)
Лабазник вязолистный (<i>Filipendula ulmaria (L) Maxim</i>)	U1,6; Ce1,4; Sm1,4; Yb1,4; Nd1,4; Th1,4; Pr1,4; Eu1,4; Dy1,3; Gd1,3; Ho1,3; La1,3; Tb1,3; Tm1,2; Er1,2; Lu1,1	Th5,1; U1,3; Eu1,2; La1,0; Pr1,0; Nd0,8; Sm0,8; Gd0,8; Ce0,7; Dy0,7; Tb0,5; Ho0,5; Er0,5; Yb0,4; Lu0,4; Tm0,3
Волос человека	U2,3; Nd1; Pr1; Ce1; Gd1; Th1; Sm0,8; Tm0,8; Lu0,8; La0,8; Tb0,7; Yb0,7; Dy0,7; Ho0,7; Eu0,6; Er0,6	—

Примечание: жирным шрифтом выделены элементы с $Kk > 1$, красным – одинаковые элементы, повторяющиеся при нормировании к разным показателям

Горнодобывающие районы включали н.п. Кемеровской области: Урск (хвостохранилище отходов цианирования полиметаллических руд зоны окисления Урского месторождения) и Комсомольск (хвостохранилище отходов золото-извлекательного завода). На данной территории в волосах человека фиксируется концентрирование большинства элементов (табл. 7), в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria (L) Maxim*) аккумулируется только Lu. Наиболее ярко отличие горнодобывающих районов относительно других территорий наблюдается по соотношению легких к тяжелым РЗЭ (рис. 17). Волосы характеризуются максимальными содержаниями легких и тяжелых РЗЭ, для растений наблюдается противоположная ситуация. Диапазон значений $La+Ce/Yb+Lu$ отношения не большой: от 25 в волосах человека до 57 в лабазнике.

Таблица 7 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U на территории горнодобывающих районов
(относительно среднего по выборке)

	Волос человека	Лабазник вязолистный (<i>Filipendula ulmaria</i> (L) Maxim)
Горнодобывающий район (Урск)	Er3,2; Yb2,4; U2,2; Tm1,9; Eu1,8; Th1,8; Dy1,8; Pr1,6; Nd1,5; Ce1,5; Gd1,5; Tb1,5; Lu1,4; La1,3; Sm1,2; Ho1,1	Lu1,1; Th0,5; Tm0,5; Yb0,5; Sm0,5; U0,5; Er0,4; Pr0,4; Nd0,4; Gd0,4; La0,4; Dy0,4; Ce0,5; Tb0,4; Ho0,4; Eu0,2
Горнодобывающий район (Комсомольск)	U3,2; Yb2,3; Er2,1; Tb1,8; Sm1,4; Tm1,4; Ho1,4; Eu1,3; Lu1,3; Th1,1; La1,1; Dy1,1; Gd1; Nd0,9; Ce0,9; Pr0,9;	Lu1; Eu0,8; La0,7; Gd0,7; Tb0,7; Pr0,7; Dy0,6; Nd0,6; Ho0,6; Er0,6; Sm0,6; Yb0,5; Tm0,5; Ce0,5; U0,4; Th0,4

Примечание: жирным шрифтом выделены элементы с $K_k > 1$, красным – повторяющиеся при нормировании к разным показателям

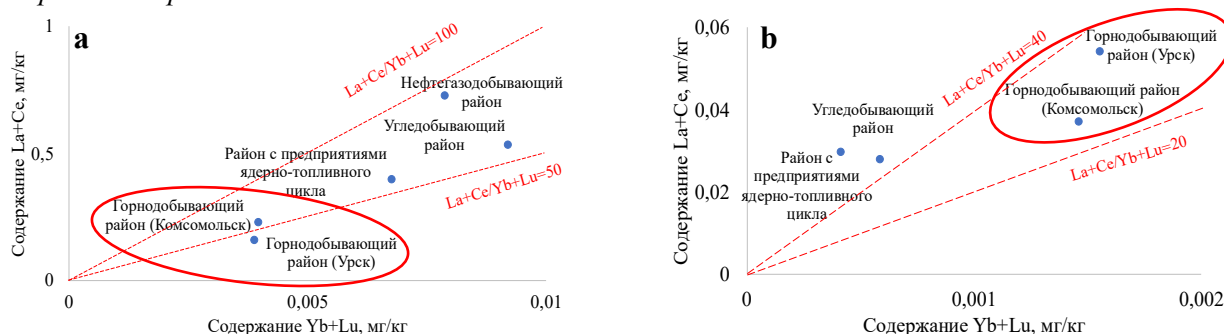


Рисунок 17 Распределение населенных пунктов по отношениям РЗЭ в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* (L) Maxim) (a) и волосах человека (b)

Район с предприятиями ядерно-топливного цикла включал н.п. Томского района. На территории располагается СПУ, а также распространены месторождения циркон-ильменитовых песков. По данным Рихванова (1997), изотопы редкоземельных элементов образуются в ряду распада тяжелых ядер урана. Многочисленные исследования показывают, что во время активной работы СХК фиксировались повышенные концентрации РЗЭ, Th, U в компонентах природной среды (Рихванов, Языков, 1996; Эколого-геохимические..., 2006). В период с 2000 по 2010 гг. в волосах жителей Томского района, отмечались повышенные содержания тяжелых РЗЭ и Th (рис. 14). Анализ волос жителей Томского района показал, что в период с 2000 по 2010 гг. в них происходит аккумуляция 2 радиоактивных (Th, U) и 7 редкоземельных элементов (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu), в то время как в образцах волос за 2014 г. подобная ситуация не наблюдается (табл. 8). Наиболее ярко выделяется зона СПУ (рис. 18). Снижения концентраций элементов могут быть связаны с остановкой реакторов на СХК, являющимся потенциальным источником РЗЭ, Th, U в окружающую среду (Барановская, Рихванов, 2002; Барановская, 2003, Рихванов, 2009) и изменением характера и интенсивности производства.

Таблица 8 Геохимические ряды РЗЭ, Th и U в волосах человека

	Кк (относительно среднего по выборке)
2000–2010 гг.	Th2,3; Eu1,6; Yb1,6; La1,5; Tb1,5; Sm1,3; U1,3; Ce1,3; Lu1,2
2014 г.	Ce0,5; Tb0,5; La0,4; Eu0,3; U0,2; Yb0,2; Lu0,1; Th0,1; Sm0,05

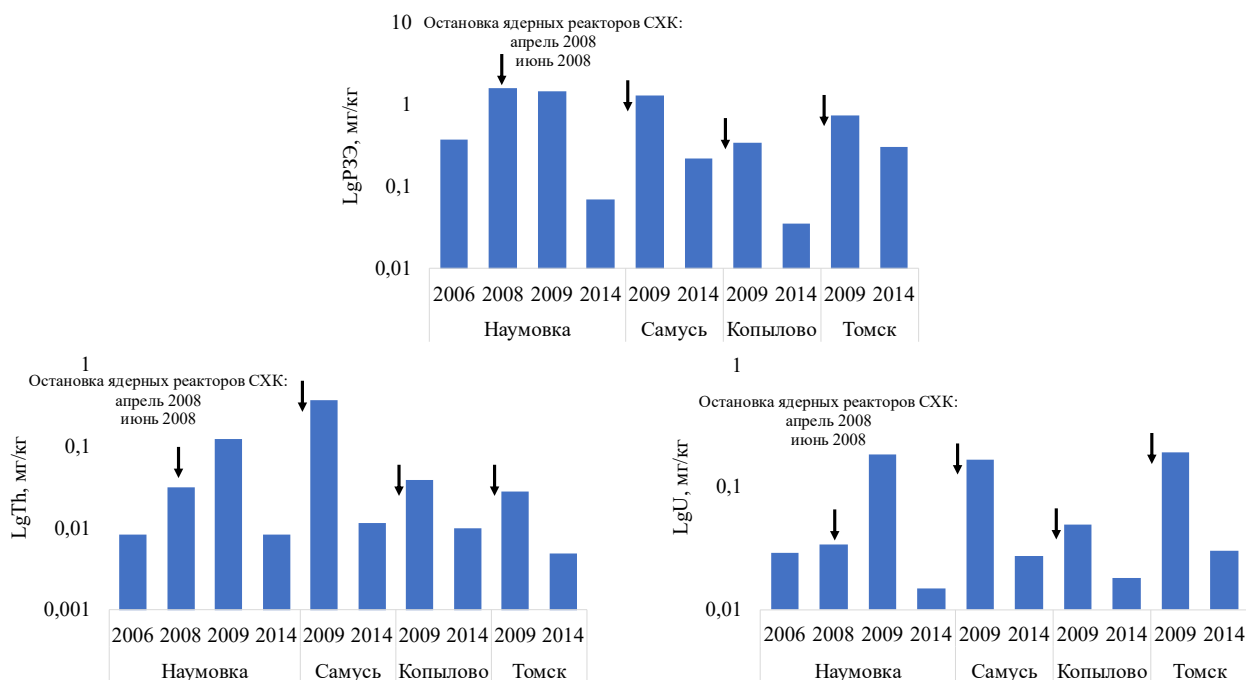


Рисунок 18 Изменение содержаний P3Э, Th и U в волосах жителей Томского района с годами

Таким образом, накопление редкоземельных и радиоактивных элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria (L) Maxim*) и волосах человека отражают как природные геохимические аномалии, так и влияние техногенных объектов, что позволяет использовать их содержания и соотношения в качестве индикаторов техногенеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа позволила обобщить материал, характеризующий накопление и распределение P3Э, Th и U. К установленной специфике можно отнести закономерное снижение их концентраций от объектов неживой природы к объектам живой природы. Закономерности касаются как литературных данных, обобщенных по различным источникам, так и региональных показателей, полученных для территорий Томской и Кемеровской областей. Для территории Кемеровской области установлена региональная специфика, выраженная в более высокой концентрации тяжелой подгруппы P3Э и U в волосах человека.

Для компонентов природной среды, природных районов Томской и Кемеровской областей, установлен территориальный аспект появления аномально высоких содержаний отдельных редкоземельных и радиоактивных элементов, что может применяться в качестве индикатора геоэкологической обстановки, обусловленной природно-техногенной спецификой.

Выявлено, что процессы техногенной трансформации находят отражение в изменении содержания и соотношения редкоземельных и радиоактивных элементов. На территории нефтегазодобывающих районов – положительная Eu аномалия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria (L) Maxim*); угледобывающих районов – концентрирование подгруппы легких P3Э, Th, U в живом веществе; горнодобывающих районов – варьирование La+Ce/Yb+Lu отношения в волосах человека от 25 до 35, в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria (L)*

Maxim) – от 40 до 57; районов с предприятиями ядерно-топливного цикла – изменение содержания редкоземельных и радиоактивных (Th, U) элементов в волосах человека во времени.

Список основных публикаций по теме диссертации

Публикации в рецензируемом журнале из списка ВАК

1. Витковский Ю.А., Михайлова Л.А., Бондаревич Е.А., Солодухина М.А., Эпова Е.С., Еремин О.В., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э., Барановская Н.В., **Агеева (Коваль) Е.В.** Влияние антропогенных геохимических факторов среды обитания на элементный статус детей п. Хапчеранга (Восточное Забайкалье) // Забайкальский медицинский вестник. – 2018. – № 2. – С. 14–23

Публикации в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus или Web of Science

2. Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В., **Агеева (Коваль) Е.В.**, Беляновская А. -, Дериглазова (Белякина) М. А., Юсупов Д.В., Эпова Е.С., Солодухина М.А., Замана Л.В., Михайлова Л.А., Большунова Т.С., Миронова А.С., Наркович (Швецова) Д.В., Судыко А.Ф., Полякова Д.А. Комплексные геохимические исследования компонентов природной среды в эндемичных районах Забайкалья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 2. – С. 7–25

3. Барановская Н.В., **Агеева (Коваль) Е.В.**, Соктоев Б.Р., Наркович (Швецова) Д.В., Денисова О.А. Матковская Т.В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020 – Т. 331. – № 2. – С. 17–28

4. Наркович (Швецова) Д.В., Барановская Н.В., **Агеева (Коваль) Е.В.**, Корогод Н.П. Влияние техногенеза на формирование элементного состава волос детского населения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 8. – С. 116–128

Статьи в журналах и материалы в сборниках научных конференций

5. **Агеева (Коваль) Е.В.**, Барановская Н.В. Результаты статистического анализа содержаний редкоземельных и радиоактивных элементов в лабазнике вязолистном (на примере Кемеровской и Томской области) // Геохимия ландшафтов (к столетию А.И. Перельмана): доклады Всероссийской научной конференции, 18-20 октября 2016. – Москва: МГУ. – 2016. – С. 267–269

6. **Агеева (Коваль) Е.В.**, Барановская Н.В. Ассоциативные взаимосвязи ТН и U с редкоземельными элементами в живом веществе // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Международной конференции, 13-16 сентября 2016. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2016. – С. 313–317

7. Барановская Н.В., Рихванов Л.П., **Агеева (Коваль) Е.В.** О геохимии редкоземельных и радиоактивных элементов в живом веществе // Современные направления развития геохимии: материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвящённой 60-летию Института геохимии СО РАН и 100-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона, 18-23 Сентября 2017. – Иркутск: Оттиск. – 2017. – С. 108–109

8. **Агеева (Коваль) Е.В.** Специфика содержания некоторых редкоземельных элементов в компонентах природной среды (на примере Томской области) // Экология России и сопредельных территорий: Материалы XXII Международной экологической студенческой конференции, 27-29 октября, 2017. – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2017. – С. 77

9. **Агеева (Коваль) Е.В.,** Барановская Н.В. Особенности накопления редкоземельных элементов в почве территории Томской области // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей, 23-28 апреля 2018. – Тюмень Изд-во Тюменский государственный университет. – 2018. – С. 318–321

10. **Агеева (Коваль) Е.В.,** Барановская Н.В. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в живом веществе на территории Кемеровской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека материалы VI Международной конференции, 20-24 сентября 2021. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2021. – Т. 2. – С. 87–89

Работа поддержана Программой Приоритет – 2030 (номер Проекта - Приоритет-2030-НИП/ИЗ-013-0000-2022).