

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

На правах рукописи

Черненькая Елена Владимировна

**ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПО
ДАНЫМ ИЗУЧЕНИЯ ГЕРБАРНЫХ И СОВРЕМЕННЫХ СБОРОВ РАСТЕНИЙ ЮГА
СИБИРИ**

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

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

Томск – 2016

Оглавление

Введение	4
1 Использование растений в качестве индикатора изменений в геохимии биосферы	9
1.1 Применение метода биогеохимической индикации в условиях техногенеза	9
1.2 Использование травянистых и кустарничковых растений в изучении техногенной трансформации биосферы	14
2 Изменение биосферы под воздействием ядерного техногенеза	20
2.1 Характеристика геохимических особенностей биосферы доядерного периода	20
2.2 Характеристика геохимических особенностей биосферы ядерного периода	28
2.3 Характеристика геохимических особенностей биосферы современного периода	35
3 Методика исследований и методы анализа	40
3.1 Методика отбора проб	40
3.2 Методы анализа	40
3.2.1 Инструментальный нейтронно-активационный анализ	42
3.2.2 Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой	44
3.2.3. Альфа-спектрометрия с радиохимической подготовкой проб	45
3.3 Методика обработки результатов	47
3.4 Геоэкологическая характеристика района исследований	49
4 Элементный состав растений как индикатор геоэкологической обстановки на территории юга Сибири	52
4.1 Видовые особенности концентрирования химических элементов в растениях юга Сибири	52
4.2 Индикаторные свойства элементного состава черники обыкновенной (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	61
4.3 Индикаторные свойства элементного состава брусники (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	73
4.4 Индикаторные свойства элементного состава лабазника вязолистного (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim)	83
4.5 Отражение процессов металлизации биосферы в элементном составе растений юга Сибири	94
5 Историческая реконструкция изменения элементного состава растений на территории юга Сибири	102

5.1 Динамика изменения элементного состава черники обыкновенной (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	102
5.2 Динамика изменения элементного состава брусники (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	108
5.3 Динамика изменения элементного состава лабазника вязолистного (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim)	112
5.4 Тенденции изменения элементного состава растений юга Сибири в условиях ядерного техногенеза	120
6 Динамика содержания плутония в чернике обыкновенной(<i>Vaccinium myrtillus</i>) и лабазнике вязолистном (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim) на территории юга Сибири	128
6.1 Распространенность плутония в живых организмах	128
6.2 Содержание плутония в составе растений на территории Томской области и Республики Алтай	132
Заключение	141
Список литературы	143
Приложение А (обязательное). Гистограммы распределения химических элементов (на 12 листах)	164
Приложение Б (обязательное). Матрицы корреляционных связей химических элементов (на 3 листах)	176
Приложение В (обязательное). Динамика содержания химических элементов в чернике обыкновенной (<i>Vaccinium myrtillus</i>) (на 28листах)	179
Приложение Г (обязательное). Динамика содержания химических элементов в бруснике (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>) (на 28 листах)	207
Приложение Д (обязательное). Динамика содержания химических элементов в лабазнике вязолистном (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim) (на 28листах)	235

Введение

Актуальность работы. С появлением и развитием человечества происходит постоянное изменение геохимического состава природных сред. В результате техногенеза увеличивается концентрирование и рассеивание существующих химических элементов, создаются новые, созданные человеком вещества и изотопы, происходит их перераспределение между земными оболочками (Вернадский, 1922, 1939, 1940, 1954, 1983; Виноградов 1932, 1952, 1954, 1957, 1958; Ковальский, 1974, 1982, 2009; Ермаков, 2003, 2008, 2009; Рихванов, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009; Алексеенко, 2005; Мотузова, 2013 и мн. др.). Глобальное изменение биосферы в результате техногенеза ярко демонстрируют работы ученых, исследующих депонирующие среды, накопление химических элементов в которых можно привязать к определенному отрезку времени. Ряд авторов показывают это на примере льдов, донных отложений, торфа, годовых колец деревьев (Небел, 1993; Гавшин, 2003; Olivier, 2003; Межибор, 2009; Страховенко, 2011; Робертус, 2013; Рихванов, 2015 и др.). Весьма показательными являются работы, демонстрирующие изменение концентрации и распределение по разрезам почв, торфов и других депонирующих сред изотопов радиоактивных элементов, в частности – плутония, америция цезия (Гавшин, 1993, 1999; Гребенщикова, 2009, 2010; Страховенко, 2011; Gautthier-Lafaye, 2007), что характеризует изменения, возникшие под влиянием процессов ядерного техногенеза.

Одним из недостатков данных методов может являться возможность перераспределения отдельных химических элементов внутри изучаемого объекта в силу различных причин.

На наш взгляд, для изучения процессов изменения химического элементного состава биосферы, включая определение радиоактивных элементов и изотопов, весьма эффективным является использование гербарного растительного материала однолетних растений. Это дает возможность непосредственно определить концентрации химических элементов в растении в определенном времени и провести реконструкцию как глобальных, так и локальных изменений природной среды и биоты. Подобные работы активно проводятся за рубежом (Herpin, 1997; Shotbolt, 2007; Weiss, 1999; Lavoie, 2013; Minganti, 2014 и др.), но в России пока единичны (Удачин, 2012). Исследования в этом направлении позволяют получить новые знания об этапах эволюции природных сред и провести историческую реконструкцию динамики изменения элементного состава растений обширных территорий.

Целью работы является выявление индикаторных показателей состава и соотношения элементов в гербарных и современных сборах растений для определения эколого-геохимической специфики территории и динамики изменения элементного состава растений.

Для реализации данной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

- определение среднего содержания химических элементов и установление их соотношений в трех видах растений юга Сибири;
- изучение специфики накопления химических элементов в каждом виде растений на локальных территориях с разной спецификой природно-техногенных условий и установление индикационных показателей их концентрирования и соотношения;
- выявление тенденций изменения содержания химических элементов во времени;
- установление динамики развития ядерного техногенеза, путем изучения содержания химических элементов на разных этапах развития биосферы и определение изотопов плутония в некоторых видах растений юга Сибири.

Основные защищаемые положения.

1. Элементный состав и показатели соотношения элементов в материале гербарных и современных сборов растений (черника (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), лабазник (*Filipendula Ulmaria* (L))) являются индикаторами природных обстановок их произрастания и особенностей техногенной трансформации территорий юга Сибири. Накопление в растениях специфичных химических элементов (Cr, Fe, Co) отражает глобальную тенденцию металлизации биосферы.
2. Исследование изменения содержаний и соотношений химических элементов от раннего временного периода (с 1912 года) к современному позволяют установить тенденцию концентрирования в растениях юга Сибири Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au и уменьшения содержания серебра вне их видовой принадлежности. При этом установлена локальная специфика накопления растениями в Томской области Co, Ce, Eu, U и в Алтайском регионе Cr, Fe, Sb, Ba, Tb.
3. Измеряемо значимые активности ^{239}Pu и ^{238}Pu обнаруживаются в гербарных сборах растений юга Сибири, отобранных только в период с 1945 по 1963 год, тогда как в период доядерного техногенеза (до 1945 года) они не обнаруживаются на детектируемом уровне измерения. В современный временной период изотопы Pu в изученных растениях обнаруживаются только в Томском районе, где функционирует предприятие ядерно-топливного цикла.

Фактический материал и методы исследования. Информационной базой исследования стали гербарные и современные сборы растений (черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазник вязолистный (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) гербария П.Н. Крылова «НИ Томского государственного университета» и гербария Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, материалы специалистов кафедры геоэкологии и геохимии «НИ Томский политехнический университет», а также собственные данные опробования растительного материала. Отбор проб растительного и гербарного материала, пробоподготовка, альфа-спектрометрический анализ с радиохимической

подготовкой проб, обработка результатов проводилась лично автором. Общее количество проанализированных проб составило 259 растений (надземная часть). Проведен отбор проб почв на территории Томской области (78 проб) в местах отбора растительного сырья. Все аналитические исследования проведены с использованием современных методов анализа: масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) в химико-аналитической производственной лаборатории Института геохимии им.А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск), инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) в лаборатории эколого–геохимических методов исследования природных сред на ядерном реакторе ТПУ (г. Томск), альфа-спектрометрия с радиохимической подготовкой проб в лаборатории изотопной спектрометрии МИНОЦ «Урановая геология» (г. Томск) с подтверждением результатов в лабораториях г. Москвы и г. Архангельска. Все указанные лаборатории имеют аккредитацию и аттестацию. Внутренний и внешний контроль качества измерений показал удовлетворительную сходимость результатов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Получены новые знания количественных характеристик содержания 58 (в том числе изотопов плутония) химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) территории юга Сибири.
- Выявлены особенности элементного состава растений и показатели соотношений элементов на локальных территориях районов Томской, Новосибирской областей, Красноярского края, Республики Хакасия, Алтайского региона, отличающихся разными эколого–геохимическими характеристиками и ландшафтно–геохимическими условиями.
- Впервые использован гербарный растительный материал для проведения исторической реконструкции изменения геохимии природных сред и выявления индикаторов техногенеза для юга Сибири.
- Установлены тенденции изменения содержания химических элементов в трех видах растений за период более чем 110 лет на территории юга Сибири.
- Выявлены региональные тенденции изменения содержания химических элементов в растениях и влияния техногенеза на эти процессы.
- Установлены измеряемо значимые активности изотопов плутония в растениях в период ядерных испытаний в атмосфере и в современном периоде.
- Получены новые знания об отношении изотопов плутония ($^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) в растениях.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов обеспечивается применением отработанной методики отбора статистически значимого количества проб материала трех видов биоиндикаторов, изученных современными

высококочувствительными аналитическими методами, использованием современных программ обработки полученных данных, а также глубиной проработки литературы по теме исследования и полученных результатов.

Статистическая обработка данных проводилась при уровне надежности 95%. Для проверки гипотезы о нормальном распределении элементов в выборке применялись критерии Пирсона и Колмогорова-Смирнова. Для сравнения значимости различий между двумя выборками использовались критерий Стьюдента или U-критерий Манна-Уитни, различия принимались значимыми при p -уровне от 0,001 до 0,01.

Практическая значимость:

- Создана база для определения фоновых уровней накопления элементов в растениях юга Сибири в доядерный период, характеризующийся отсутствием интенсивного техногенеза, что может быть использовано в качестве реперных показателей в биогеохимических исследованиях при глобальном и региональном мониторинге территорий;

- Знания о содержании макро- и микроэлементов в растениях позволяют определять их пригодность для использования в качестве лекарственного сырья для производства лекарственных средств и нормировать содержание опасных компонентов, а так же целенаправленно использовать их для профилактики и лечения заболеваний человека, в частности комплексной терапии микроэлементозов.

- Материалы работы использовались в подготовке разделов учебных курсов: «Геоэкология», «Геохимия и геохимический мониторинг природной среды», «Медицинская геология» и «Биогеохимия», читаемых для бакалавров направления «Геоэкология» и магистров по направлению «Экология и природопользование».

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы были обсуждены на межвузовских и международных научных и научно-практических конференциях: Международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2012 г., 2016 г.), VII Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде» (Казахстан, г. Семипалатинск, 2012 г.), международной заочной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности» (Тамбов, 2015 г.), IX Международной биогеохимической школе: Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии (Барнаул, 2015), конференции «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2015). Результаты опубликованы в виде 6 статей в сборниках общероссийских и международных конференций и две - в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 163 страницах машинописного текста, включает 52 таблицы, 85 рисунков и 5 приложений. В списке литературы 265 источника.

Личный вклад автора. Автором лично выполнен отбор проб растительных образцов и подготовка к анализу надземной части черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) в 2011 и 2012 гг., а также отобран гербарный материал растений, предоставленных гербариями П.Н. Крылова «НИ Томского государственного университета» и Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. В местах отбора растений в Томской области выполнен отбор проб почв и подготовка их к анализу. Проведен альфа-спектрометрический анализ с радиохимической подготовкой проб растительного материала гербарных и современных сборов растений. Проведена статистическая обработка полученных результатов анализов ICP-MS, ИНАА, альфа-спектрометрии. На этой основе определены индикационные показатели и тенденции изменения содержания химических элементов во времени в трех видах растений юга Сибири, а также по отдельным регионам (Томская область, Республика Алтай) и некоторым населенным пунктам. Анализ полученных результатов проводился под контролем руководителя.

Благодарности. Автор работы выражает глубокую и искреннюю благодарность научному руководителю профессору, доктору биологических наук Наталье Владимировне Барановской и профессору, доктору геолого-минералогических наук Леониду Петровичу Рихванову за ценные советы, критический взгляд, всестороннюю помощь и поддержку на протяжении всего периода выполнения работы.

Автор благодарит сотрудников гербария П.Н. Крылова «НИ Томского государственного университета» И.И. Гурееву, М.В. Олонову, Н.В. Курбатскую; а также сотрудников Центрального сибирского ботанического сада СО РАН И.Г. Боярских и С.А. Красникову за предоставление проб гербарного материала для исследования.

Автор благодарен исполнителям аналитических исследований: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутской, И.Е. Васильевой (Иркутск).

За помощь и ценные рекомендации автор приносит благодарность сотрудникам кафедры ГЭГХ: д.г.-м.н., С.И. Арбузову, д.г.-м.н. Е.Г. Языкову к.х.н. Н.А. Осиповой, к.г.н. Н.П. Соболевой, кандидатам г.-м.н.: И.С. Соболеву, Л.В. Жорняк, Д.В. Наркович, Д.В., зав. лабораторией Г.А. Бабченко, аспирантам А.А. Кудагелдинову, Б.Р. Соктоеву, А.Р. Ялалтдиновой, Е.А. Филимоненко а так же всем другим сотрудникам кафедры за поддержку.

Особую благодарность автор выражает своей семье и мужу, их терпение и понимание помогли работе состояться.

1 Использование растений в качестве индикатора изменений в геохимии биосферы

1.1 Применение метода биогеохимической индикации в условиях техногенеза

Развитие идеи биогеохимической индикации тесно связано с именем Владимира Ивановича Вернадского, который впервые начал изучать «явления жизни с геохимической точки зрения» (Вернадский, 1921; 1922; 1926; 1930; 1939; 1940 и др.).

Несмотря на многообразие природных условий, человек, животные и растения в целом имеют сходный элементный химический состав. В процессе эволюции элементный состав растений изменялся в результате адаптации к факторам окружающей среды. У большинства растений развился лишь ограниченный контроль над низкой или чрезмерной доступностью тех или иных элементов, которые в норме встречаются в их тканях в следовых количествах. Однако, развитие механизмов толерантности у некоторых растений не только позволило им выживать в экосистемах, где антропогенное воздействие увеличило биологическую доступность элементов, но также определило возможность использования отдельных видов растений в качестве геохимических индикаторов (Вернадский, 1983).

Исследования В.И. Вернадского биогеохимической роли живого вещества в геологических процессах, биокосных систем Земли, биогенной миграции веществ привели к созданию фундаментального труда «Биосфера» (Вернадский, 1926), в котором он определяет биосферу как отдельную геосферную оболочку Земли чрезвычайно важную роль в которой играет живое вещество: «Живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы. Они все нужны для жизни и все попадают в состав организма не случайно. Нет особых, жизни свойственных элементов. Есть господствующие» (Вернадский, 1926, 1938).

Под руководством В.И. Вернадского создается Биогеохимическая лаборатория (БИОГЕЛ, в настоящее время ГЕОХИ РАН), в стенах которой были заложены основы биогеохимических направлений исследований.

В БИОГЕЛ изучался элементный химический состав живых организмов, биогеохимия йода, брома, фтора, никеля, кобальта, германия, рубидия, ванадия, бора, титана, а также определение радиоактивных элементов в живых организмах – радия, урана и тория (Виноградов, 1932, 1935, 1938, 1952, 1954, 1957, 1958; Селиванов, 1939, 1946; Малюга, 1947, 1957, 1963; Боровик, Боровик-Романова, 1937; Ратынский, 1946; Глебович, 1946; Кирсанов, 1936; Бруновский, 1930, 1932; Кунашева, 1930, 1932, 1944; Симорин, 1936).

Изучение химического состава растений получило широкое распространение во многих странах мира как фундаментальная база для познания биогеохимических циклов в экосистемах и

ландшафтах. Работы по изучению накопления элементов проводят французские, немецкие и другие ученые (Damiens, 1921; Burkser, 1931; Hoffman, 1943; Warren, 1949; Evans, 1939 и др.).

В прикладном аспекте результаты многолетних исследований стали использоваться при поиске месторождений полезных ископаемых. В основе метода лежит поиск ответных реакций растений на повышенные (рудные) концентрации химических элементов в породах (Виноградов, 1954, 1957; Ковалевский, 1975, 1984, 2010; Ткалич, 1938, 1959, 1960, 1969, 1970; Малюга, 1947, 1963; Поликарпочкин, 1964; Саэт, 1982).

Исследования микроэлементного состава живых организмов, в том числе растительности собраны в несколько библиографических томов («Микроэлементы...», 1962, 1968; «Биологическая...», 1965).

Развитие технического прогресса, индустриализация народного хозяйства, развитие добывающей и обрабатывающей промышленности приводит к изменению геохимии природных сред. Новое понятие «техногенез», введенное А.Е. Ферсманом (1937), устанавливает деятельность человека как мощного геохимического фактора, который изменяет специфическим образом геохимическую обстановку в биосфере.

Использование растительности для выявления изменений природной среды началось с работ В.В. Ковальского, А.И. Перельмана, В.В. Добровольского, М.А. Глазовской, В.В. Ермакова и остается актуальным для многих ученых в наше время (Ковальский, 1974, 1982, 2009; Перельман, 1975; Добровольский, 1983, 2008; Глазовский, 1982; Глазовская, 1976, 1988, 1994; Ермаков, 2003, 2008, 2009; А. Кабата-Пендиас, Р. Пендиас, 1989; Школьник, 1960; Петрунина, 1999, 2000; Безель, 2007, 2010; Ильин, 1985, 1991, 2012; Позолотина, 2000, 2004, 2009; Панин, 2003; Рихванов, 2002, 2004, 2006, 2015; Барановская, 2003, 2005, 2011, 2012, 2015; Алексеенко, 2006, 2011, 2013; 2015; Баргальи, 2005; Асылбекова, 2010 и мн. др.).

Аналогичные исследования широко проводятся и зарубежными учеными (Bowen, 1966, 1974, 1979; Cannon, 1960, 1962; Everett, 1967; Markert, 1992, 1993, 1996, 2003; Brundin, 1987; Эмсли, 1993; Anttila, 2011; Gautthier-Lafaye, 2007; Mihalik, 2014; Outola, 2002; Reimann, 2001; Vinichuk, 2011 и др.).

По мере развития науки и накопления материала по изучению влияния техногенеза на растения разработаны также ботанические (Аватуров, 1982; Алексеев, 1990; Меннинг, 1985; Крючков, 1990; Токарева, 1992) физиолого-биохимические (Барахтенова, 1993; Николаевский, 1999; Беляева, 1986; Мальхотра, 1986; Неверова, 2009; Николаевская, 1990; Ружицкая, 1969; Рожков, 1989; Сергейчик, 1988), морфо-биометрические (Аугустайтис, 1992; Гитарский, 1993; Зубарева, 1993; Калинин, 1989; Неверова, 2001; Николаевский, 1999), биофизические (Алиев, 1993; Гетко, 1989; Карнаухов, 1982), дендрохронологические (Рихванов 2002, 2007, Архангельская, 2004; Алексеев 1990; Балясова, 1994; Сабиров, 1988; Тимофеева, 1993;

Шипунов, 1980; Шуберт, 1983), популяционные и биогеоценотические (Ланина, 1982; Лукина, 1992; Разумовский, 1982; Сайккели, 1988; Сапунов, 1984; Смит, 1985) методы оценки.

Глобальное изменение биосферы в результате техногенеза ярко демонстрируют работы ученых, исследующих депонирующие среды, накопление химических элементов в которых можно четко привязать к определенному отрезку времени. Так, Б. Небел установил динамику содержания свинца в ледниках Гренландии. Наблюдается четкое увеличение содержания элемента начиная с 1950 гг. (рисунок 1.1), характеризующее процессы интенсификации техногенеза, связанного с развитием автомобильной промышленности.

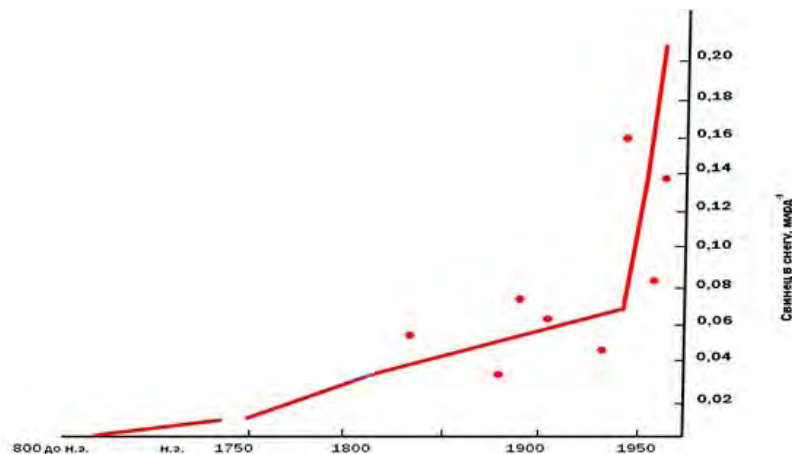


Рисунок 1.1 – Содержание свинца в ледниках Гренландии (Небел, 1993)

Оливер с соавторами (S. Olivier, 2003) в своих исследованиях льда горы Белуха (Республика Алтай) устанавливают содержание плутония и трития, максимальные содержания которых приходится на период с 1955 по 1965 годы - время интенсивных ядерных испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне (рисунок 1.2).

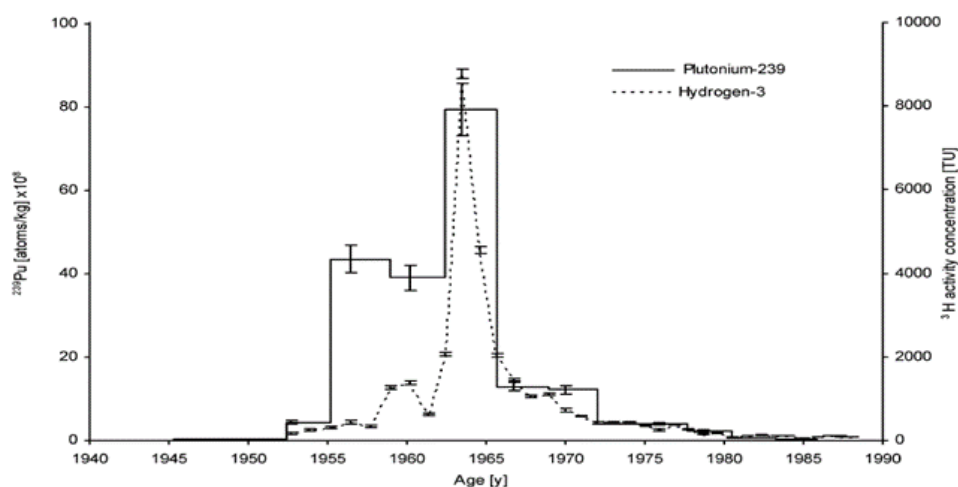


Рисунок 1.2 – Содержание ^{239}Pu и ^3H во льдах г. Белуха (Olivier, 2003)

Изменения, происходящие в биосфере, неразрывно связаны с освоением человеком ядерной энергии. Трансформация природных сред в результате ядерного техногенеза подтверждается многочисленными исследованиями (Гавшин, 1993, 1999, 2003; Рихванов, 1997, 2003, 2005, 2007, Gautthier-Lafaye, 2007; Язиков, 2010; Межибор, 2009; Небел, 1993; Olivier, 2004; Робертус, 2013; Атурова, 2001; Берчук, 2012; Страховенко, 2011; Мотузова, 2013; Барановская, 2015 и др.).

Так, В.М. Гавшин (2003) установил распределение специфичных для этого процесса микроэлементов в торфянике Кирсановского болота, выявив их наиболее интенсивное накопление в современном периоде развития биосферы (рисунок 1.3).

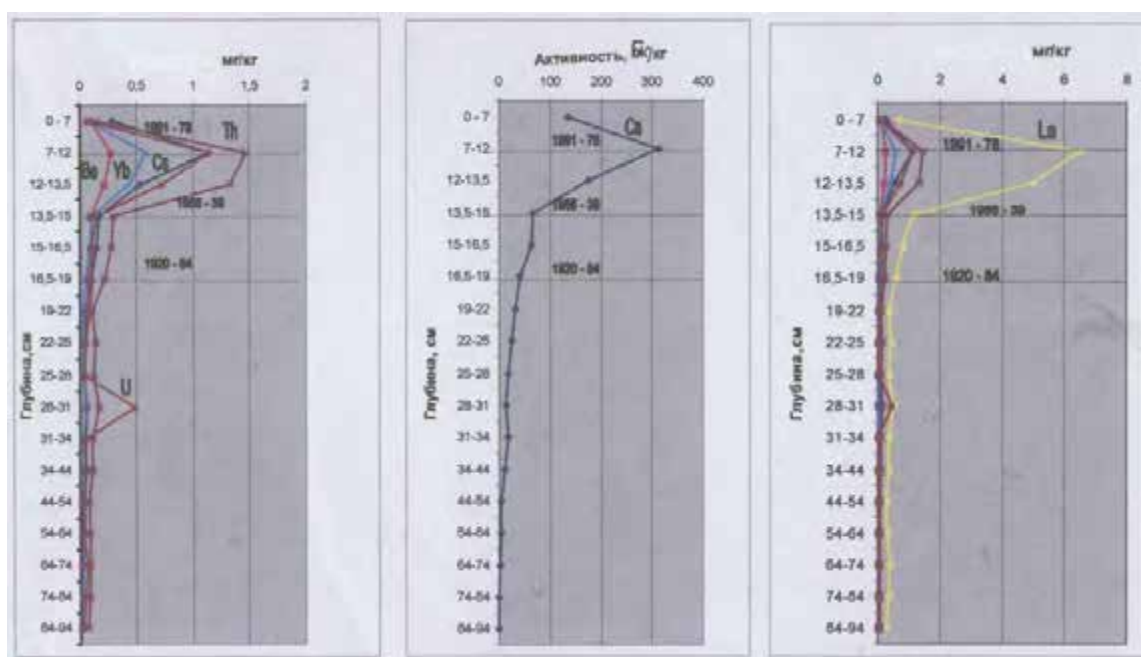


Рисунок 1.3 - Распределение Th, Cs, La в торфянике Кирсановского болота Томской области (Гавшин, 2003)

Работы А.М. Межибор (2009), по изучению содержания элементов-примесей в торфах болотных массивов Томской области, убедительно демонстрируют степень и динамику антропогенного воздействия (рисунок 1.4).

Изменения в геохимии биосферы, происходящие на протяжении значительного периода времени, весьма ярко демонстрирует изучении годичных колец деревьев (Архангельская, 2004; Рихванов, 2015 и др.). Образуюсь последовательно во времени, они фиксируют в себе элементный состав среды своего обитания и, тем самым, накапливают информацию об изменении биосферы в течение длительного времени, демонстрируя приуроченность привноса химических компонентов в растение к какому-либо техногенному событию (рисунок 1.5).

Данный метод имеет вероятность ошибки при изучении кратковременного периода времени, т.к. возможно перераспределение элементов между кольцами дерева.

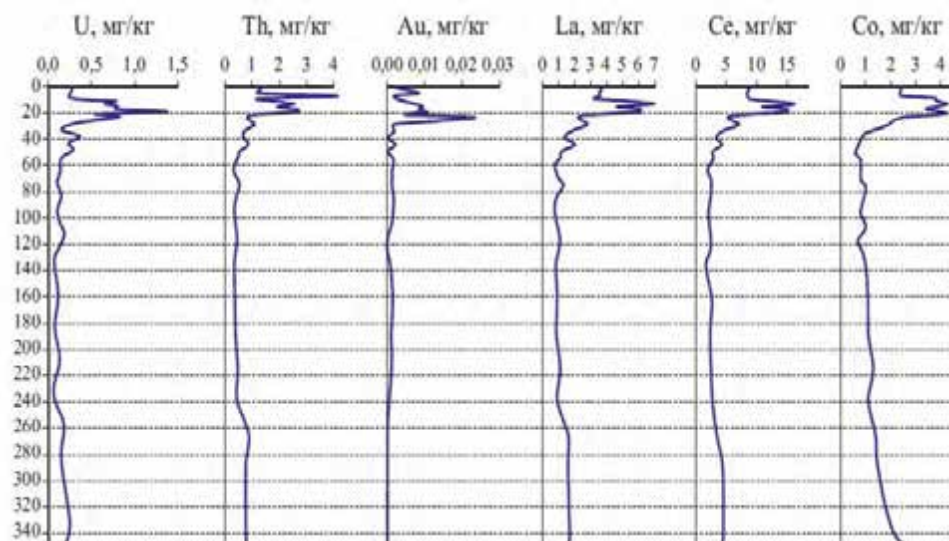


Рисунок 1.4 – Распределение некоторых элементов-примесей в профиле торфяника Томской области (Межибор, 2009)



Рисунок 1.5 – Плотность треков от осколков деления U-235 и трансурановых элементов в срезе дерева (сосна) фонового района Томской области: с. Ярское (Рихванов, 2015)

Таким образом, литературные данные свидетельствуют об изменениях химического состава природных сред, в том числе и биосферы. Как правило, наблюдается тенденция увеличения концентрирования элементов от прошлого к настоящему периоду времени во многих депонирующих средах. При этом, применяемый, наряду с другими, биогеохимический метод исследования демонстрирует высокую информативную способность.

1.2 Использование травянистых и кустарничковых растений в изучении техногенной трансформации биосферы

Необходимо отметить, что растительность является наиболее чувствительным компонентом, отражающим как воздушное, так и почвенное загрязнение. Преимущество растительности, как биоиндикатора, состоит в том, что она суммирует все биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом; устраняют трудную задачу применения дорогостоящих методов исследования; исключают невозможность регистрирования залповых и кратковременных выбросов токсикантов; указывают пути и места скопления в экосистемах различного рода загрязнений; позволяют судить о степени вредности веществ для живой природы.

Особенно актуальна данная тематика становится при изучении лекарственных растений. Так, например, установлено, что Cr, Br, La и др. элементы переходят из сухой части лекарственных растений в фармакологически активный экстракт (Барановская, 2011). Элементный состав лекарственных растений зависит от множества факторов, среди которых литологический состав подстилающих пород, климат, состав подземных и поверхностных вод, видовая специфика, техногенный фактор.

Так, например, элементный состав лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim), обладающего широким спектром фармакологического действия и издавна применяющийся в медицине, на сегодняшний день изучен недостаточно. Имеются сведения об элементном составе лабазника, собранном на территориях Северного Алтая, Курской области, вблизи г. Красноярска и в Томской области, они представлены в таблице 1.1. Данные исследования отражают элементный состав надземной части лабазника, но не все определяют среднее содержание элементов в растении, что является важной составляющей при использовании лабазника в медицине.

В.Н. Бубенчиковой и др. установлено содержание 37 химических элементов в составе надземных органов лабазника вязолистного произрастающего на территории Курской области. Анализ проводился с помощью рентгено-флуоресцентного анализа с использованием прибора Oxford ED-2000 (Бубенчикова, 2006, 2011).

И.Д. Зыковой и А.А. Ефремовым методом атомно-эмиссионного анализа исследован элементный состав стеблей, листьев и соцветий лабазника вязолистного *Filipendula Ulmaria* (L) Maxim, в его составе определено 22 химических элемента. На основании полученных данных авторами выявлены ряды накопления элементов:

для стеблей – Cd<Co<V <Pb<Ni<Ti<Ba<Cu<Ca<Zn<Mn< B<Fe<Sr<Si;

для листьев – Cd<Co<V<Ni<Pb<Cu<Ti<Zn<Ca<Mn<Ba<B<Sr<Fe<Si;

для соцветий – Cd<Co<V<Pb<Ni<Cu<Ti<Ba<Ca<Zn<Mn< B<Sr<Fe<Si.

Содержание таких элементов как Be, Bi, Ga, In, Sn, Sb, Se составляет меньше 0,01-0,03 мг/кг (Зыкова, 2012).

И.В. Шиловой и Н.В. Барановской (2003 – 2012) исследован элементный состав и определены средние содержания элементов в надземной части лабазника вязолистного *Filipendula Ulmaria* (L) Maxim, собранном в различных районах Томской и Кемеровской областей. Исследование элементного состава выполнялось с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа, в составе определено 45 химических элементов, определены средние содержания элементов. Авторами получен ряд накопления элементов: Ca>Na>Fe>Ba>Sr>Rb>Br>La>Cr>Ce>Co>Sc>Th>Sb = Sm = Cs>U>Hf>Eu>Yb = Au>Tb = Ta>Lu, который показывает, что доминирующими элементами в зольном остатке надземной части лабазника являются кальций и натрий. Выявлено, что для данного вида характерно накопление железа, бария, стронция и рубидия. Также авторами установлена геохимическая специфика районов природного и техногенного характера, которая влияет на количественное содержание элементов в надземной части лабазника, даны рекомендации для заготовки сырья (Барановская, 2012).

Таблица 1.1 - Содержание химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории России по оценкам разных специалистов

Элемент	По данным Бубенчиковой В.Н., 2006г. (Курская обл.) мг/кг сухого вещества	По данным Зыковой И.Д. и др., 2012г (г. Красноярск) мг/кг сухого вещества			По данным Барановской Н.В., 2012г (Томская, Кемеровская обл.) мг/кг золы
		стебли	листья	соцветия	
Be		< 0,01	< 0,02	< 0,03	
B		6,1	43,1	25,8	
Na	89,8				4400
Mg	396,7				
Al	18,3				
Si	830,7	68,3	614,0	422,0	
P	931,8				
S	51,5				
Cl	130,3				
K	3579,1				
Ca	8566,9	3,3	19,3	20,2	120000
Sc					0,7
Ti	06,6	0,8	7,5	7,1	
V	1,8	0,03	0,47	0,32	
Cr	1,5				3,1
Mn	54,9	4,6	36,4	24,3	
Fe	686,9	11,4	196,0	133,6	3831
Co	14,0	0,02	0,10	0,12	1,7
Ni	3,7	0,3	0,6	2,7	
Cu	10,9	2,9	5,2	7,1	
Zn	33,4	3,6	16,0	22,0	
Ga		< 0,01	< 0,02	< 0,03	

Эле- мент	По данным Бубенчиковой В.Н., 2006г. (Курская обл.) мг/кг сухого вещества	По данным Зыковой И.Д. и др., 2012г (г. Красноярск) мг/кг сухого вещества			По данным Барановской Н.В., 2012г (Томская, Кемеровская обл.) мг/кг золы
		стебли	листья	соцветия	
As	1,5				
Se		< 0,01	< 0,02	< 0,03	
Br	1,1				61
Rb	4,7				195
Sr	24,0	22,7	69,0	56,6	433
Y	0,3				
Zr	1,1				
Nb	0,2				
Mo	28,1				
Cd		0,0004	0,003	0,008	
In		< 0,01	< 0,02	< 0,03	
Sn	0,2	< 0,01	< 0,02	< 0,03	
Sb	0,5	< 0,01	< 0,02	< 0,03	0,3
Te	0,2				
Cs					0,3
Ba	12,0	2,1	26,3	19,2	614
La	0,7				3,3
Ce					2,8
Nd	23,9				
Sm					0,3
Eu					0,12
Tb					0,04
Yb					0,1
Lu					0,01
Hf	6,0				0,19
Ta					0,04
Au					0,1
Hg	0,3				
Tl	0,2				
Pb	1,1	0,1	1,1	0,8	
Bi		< 0,01	< 0,02	< 0,03	
Th	2,0				0,4
U					0,26

Следует отметить, что спектр определяемых элементов очень различается у разных ученых в зависимости от метода анализа материала, а также в широких пределах (иногда на порядки) варьируют концентрации одних элементов в различных исследованиях, что вероятнее всего связано как с различными геологическими условиями, так и с антропогенной нагрузкой на территорию.

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) также представляют собой большой интерес для исследования, т.к. являются важными лекарственными и пищевыми видами растений. Они характеризуются широкой экологической амплитудой. Наиболее часто произрастают в светло- и темно-хвойных, а также

мелколиственных лесах бореальной зоны, где занимают господствующее положение в травяно-кустарничковом ярусе (Рысин, 2002).

Так, в работе М.А. Ефимовой подробно изучено содержание тяжелых металлов (Ni, Cu) в разных органах кустарничков: чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) и бруснике (*Vaccinium vitis-idaea* L.). В фоновых условиях содержание Ni и Cu в разных органах растений примерно одинаково и составляет в среднем менее 5 мг/кг сухого вещества. В условиях промышленного загрязнения концентрация тяжелых металлов в разных органах различается в 5–20 раз: максимальное количество Ni и Cu накапливается в корнях (150–230 мг/кг), минимальное – в ягодах: менее 10 мг/кг (рисунок 1.6) (Ефимова, 2007).

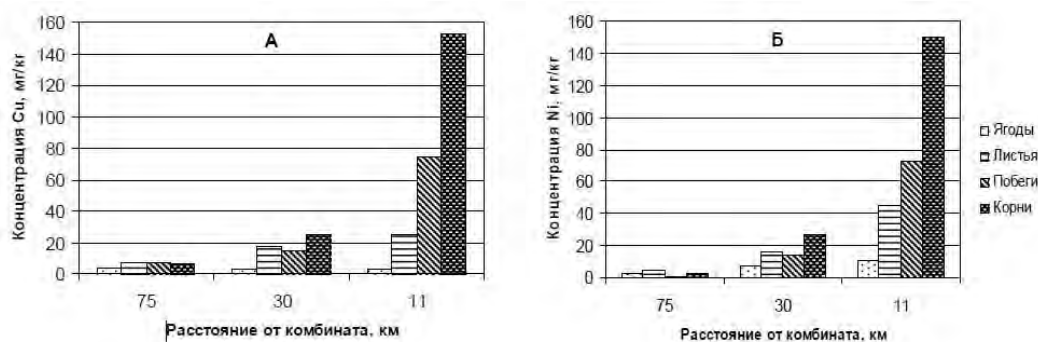


Рисунок. 1.6 - Содержание Cu (А) и Ni (Б) в различных органах *Vaccinium myrtillus* по градиенту загрязнения (Ефимова, 2007)

Н.В. Барановской на территории Томского района Томской области оценены средние содержания 22 химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*). Установлено, что в данном регионе произрастания черника наиболее активно накапливает золото, бром и серебро. Выявлены различия в накоплении химических элементов органами растения: количество бария в стеблях черники выше, чем в ягоде и листьях, а количество стронция в ягоде выше, чем в стеблях и листьях (Барановская, 2003).

По данным Г.В. Полякова средние содержания Zn, Hg, Cu, Cd, Pb в растениях Степного Алтая заметно выше, чем в Горном Алтае. Автором установлено, что растения Республики Алтай по содержанию токсичных металлов отличаются от растений других регионов Сибири в сторону понижения (Поляков, 1996).

М.Г. Опекунова и др. исследовала состав брусники произрастающей на территории Западно-Яряхинского, Северо-Пуровского, Юрхаровского газконденсатных месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа с целью индикации антропогенной нагрузки. Авторами установлено, что в бруснике на антропогенно-измененных территориях фиксируется повышенные содержания бария и цинка. Также исследователи определили средние содержания тяжелых металлов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) в г. Мончегорск: Fe – 31, Zn – 15, Mn – 27, Pb – 0,23, Ni – 34, Cu – 13, Co – 1,6 все мг/кг сухого вещества (Опекунова, 2007).

М.Р. Трубина и др. оценила содержание Cu, Pb, Zn, Cd в бруснике, собранной на разном удалении от медеплавильного завода на Среднем Урале. Так, на удалении в 3-10 км от источника выбросов установлены следующие средние концентрации элементов: Cu – 4,9; Zn – 12,8; Cd – 0,1; Pb – 3,7 все мг/кг сухой массы.

Данных по средним содержаниям химических элементов в чернике и бруснике зарубежных стран в доступной научной литературе немного.

Так, А. Sandvik и др. для территории западной Норвегии установили среднее содержание в чернике (*Vaccinium myrtillus*) следующих элементов: Mn – 742 мг/кг, Fe – 46 мг/кг, Co – 0,051 мг/кг, Cu – 6,8 мг/кг, Zn – 18 мг/кг, Mo – 0,06 мг/кг (Sandvik, 2005).

С. Reimann и др. установили с помощью анализов ICP-MS, ICP-AES и CV-AAS (Hg) содержания 38 химических элементов в чернике (*Vaccinium myrtillus*) и бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*), собранной на территории Северной Европы. Установлено, что растения, хотя и произрастают на одних и тех же почвах и при одинаковых условиях окружающей среды, но, по-разному накапливают ряд элементов: Cd, V, Co, Pb, Ba и Y. Другие элементы: Rb, S, Cu, K, Ca, P и Mg имеют сопоставимые уровни накопления.

Большой вклад в развитие научных знаний о содержании и распределении радионуклидов в растениях, а также об индикации радиоактивного загрязнения внесли современные ученые, что отражено в многочисленных работах последних лет (Архангельская, 2004; Асварова, 2014; Барановская, 2003, 2005, 2009, 2011, 2013; Криволуцкий, 1999; Егорова, 2009, 2012; Кайзер, 2013; Мешкинава, 2010; Молчанова, Михайловская, Позолотина, 2014; Позолотина, 2004; Рихванов, 2002, 2004, 2005, 2006; Робертус, 2013; Фетисова, 2005; Anttila, 2011; Gautthier-Lafaye, 2007; Mihalik, 2014; Outola, 2002; Reimann, 2001; Vinichuk, 2011 и др.).

Так, С.С. Мешкинава установила, в растениях долины Средней Катунь удельная активность ^{238}U колеблется от 7 до 115 Бк/кг и в среднем равна $29,9 \pm 8,5$ Бк/кг. Наибольшие концентрации обнаружили в *Limonium flexuosum* L. - 115 Бк/кг, *Artemisia frigid* Willd - 90 Бк/кг, при коэффициентах накопления 2,1 и 2,2, соответственно. Наименьшая концентрация наблюдается у *Kochiadensiflora* (сем. *Chenopodiaceae*). Исходя из поведения U, Th и других радионуклидов был сделан вывод, что растения легко поглощают растворимые соединения Th.

М.И. Кайзер, О.А. Ельчининова и др. установили содержание некоторых естественных радионуклидов (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) и радиоцезия (^{137}Cs) в растениях Северо-Восточного Алтая. Среднее содержание $^{137}\text{Cs} = 7,40$ Бк/кг, $^{238}\text{U} = 0,58$ г/т, $^{232}\text{Th} = 0,55$ г/т, $^{40}\text{K} = 0,67$ %, что свидетельствует, по мнению авторов, о соответствии их фоновым значениям. Также, по данным корреляционного анализа, выявлена высокая положительная зависимость между содержанием элементов в растениях от содержания их в почвах по ^{232}Th и ^{40}K , средняя – по ^{238}U и ^{137}Cs . Исследования авторов показали неравномерность в распределении химических элементов по отдельным частям растений. Максимальные концентрации ^{238}U , ^{232}Th и радиоцезия обнаружены

в корнях растений; ^{40}K в стеблях, что соответствует их биохимическому поведению и физиологической роли в растительном организме (Кайзер, 2013).

Таким образом, обширные исследования по изучению содержания элементов в растениях показывают, что они служат надежным индикатором, как при поиске месторождений полезных ископаемых, так и при индикации техногенного загрязнения, в том числе радионуклидного. Знания среднего содержания элементов в растениях необходимы для получения физиологически значимых, ценных компонентов для создания лекарственных средств, но в настоящий момент таких исследований проведено недостаточно.

Изучение изменения элементного состава растений во времени дает возможность проследить динамику изменения геохимического состава биосферы.

2 Изменение биосферы под воздействием ядерного техногенеза

В.И. Вернадский в своем фундаментальном труде о биосфере, приходит к выводу о том, что она по массе живого вещества, по энергии и степени организованности в геологической истории Земли постоянно изменялась, а появление человека и его научной мысли явилось естественным этапом ее эволюции (Вернадский, 1983). Биосфера химически стремительным образом меняется человеком, создаются множество искусственных минералов, соединений, элементов. Одним из важных этапов в эволюции биосферы является открытие и использование человеком радиоактивных элементов. На наш взгляд, в разрезе ядерного техногенеза развитие биосферы можно условно разделить на три периода.

Первый период – это доядерный период - временной промежуток до 1944 года включительно, когда явление радиоактивности уже открыли, но еще не использовали масштабно радиоактивные элементы.

Второй период – это ядерный период с 1945 по 1963 годы. Это время мощных и интенсивных ядерных испытаний в воздушной, водной и космической среде. Колоссальное количество впервые созданных человеком радиоактивных элементов выпали на поверхность суши и океанов всей планеты.

Третий период – это современный период с 1964 год по настоящее время. Это запрет на испытание ядерного оружия в трех средах (атмосфере, космическом пространстве и под водой), эра «мирного использования атома» и оценки последствий ядерных испытаний для человека и природы.

Каждый из этих периодов характеризуется своими геохимическими особенностями состава природных сред, в том числе биоты.

2.1 Характеристика геохимических особенностей биосферы доядерного периода

Доядерный временной период охватывает время до 1944 года. Причем до 1940 года были известны только встречающиеся в природе актиниды – торий, протактиний и уран (Гринвуд, 2008).

Геохимия данного периода характеризовалась поступлением в природные среды исключительно естественных радионуклидов: ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra и продуктов их распада.

Источниками поступления данных элементов в окружающую среду служили месторождения полезных ископаемых (урановые, монацитовые, фосфоритов, и др.) и промышленные предприятия ведущие их переработку. Из всего урано-производящего комплекса добыча и переработка урановых руд дает самый большой объем радиоактивных

отходов. Специфическая особенность уранового и ториевого производства – наличие во всех видах отходов радионуклидов с большим периодом полураспада. Обычно промышленное содержание урана в рудах находится в интервале 0,02 - 0,03%. Руды с меньшей концентрацией этого радиоактивного элемента считаются забалансовыми и вместе с «пустой» породой занимают на рудниках и карьерах многие тысячи квадратных метров и являются источниками загрязнения местности (Рихванов, 1997).

Еще одним источником естественных радионуклидов могут являться горные породы и природные воды, содержащие повышенное количество природных радиоактивных элементов, это такие породы как граниты, углеродисто-кремнистые сланцы, фосфориты.

Городские районные электростанции (далее ГРЭС) и теплоэнергоцентралы (далее ТЭЦ), работающие на некоторых типах углей, горючих сланцев и торфов также являются мощным источником естественных радиоактивных элементов. Уголь, подобно нефти и газу, представляет собой органическое вещество, подвергшееся медленному разложению под действием биологических и геологических процессов. Основа образования угля – растительные остатки, произраставшие миллионы лет назад. Вместе с тем, уголь всегда содержит природные радиоактивные вещества уранового и актиноуранового рядов (^{238}U и продукты его распада ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po и т.д.; ^{235}U и продукты его распада ^{219}Rn и т.д.), ториевого ряда (^{232}Th и продукты его распада ^{220}Rn , ^{216}Po), а также долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K . (Рихванов, 1997; Арбузов, 2000).

Среднее содержание урана в углях («угольный кларк», по Я.Э. Юдовичу) составляет 3,6 г/т. Природный уран представляет собой смесь трех изотопов следующих пропорциях: ^{238}U - 99,282%, ^{235}U - 0,712%, ^{234}U - 0,006 % (Рихванов, 1997).

Потери радиоактивных элементов при озолении и прогнозирование их выбросов в атмосферу изучили Л.Я. Кизельштейн, Я.Э. Юдович, а также, в частности, для углей Кузбасса - С. И. Арбузов, В. В. Ершов, А. А. Поцелуев. Было установлено, что потери урана и тория при озолении (860°C) для углей Кузбасса в среднем составляют 33% и 17%, соответственно. Уменьшение урана и тория отмечено в углях марок Д, Ж и К, при увеличении их в марках О, С и Т. При его сжигании в золе определяется значительное содержание урана (радия) (Арбузов, 1996). Отметим, что кузбасский уголь основной энергоноситель ТЭЦ г. Томска. Процесс сжигания угля следует рассматривать как факт перемещения естественных радионуклидов из недр на поверхность земли, при этом происходит процесс их концентрации в золе и шлаках (рисунок 2.1).

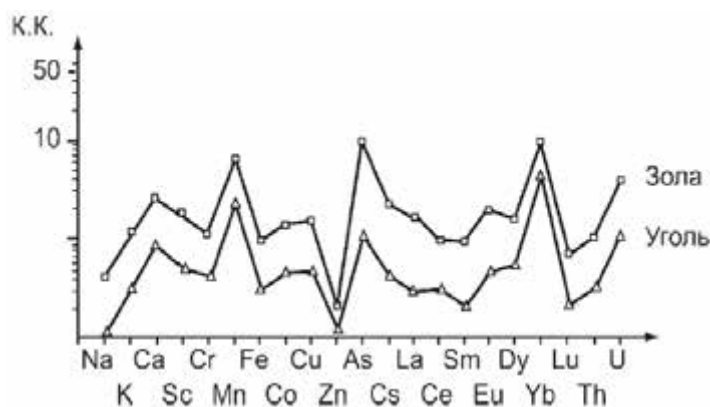


Рисунок 2.1 - Нормированные кривые распределения элементов в углях и золах
(Рихванов, 2009)

Если рассматривать динамику развития угольной промышленности в нашей стране, можно отметить, что объем добычи и использования угля с 1932 года резко увеличивается, что показывает рисунок 2.2, а данный факт не может не отразиться на геохимическом составе сред (Грунь, 2003).

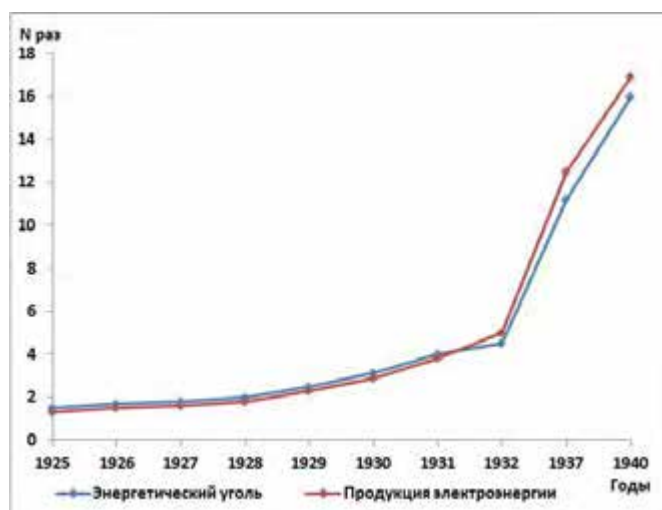


Рисунок 2.2 - Темпы роста продукции электроэнергии и добычи энергетических углей за период 1925-1940 гг. (Грунь, 2003)

Как видно из рисунка 2.3 основными топливно-энергетическими ресурсами в 40-х годах были уголь, торф и горючие сланцы, при сжигании которых, а также в отсутствии в то время систем пылеулавливания в природные среды приносились естественные радионуклиды.

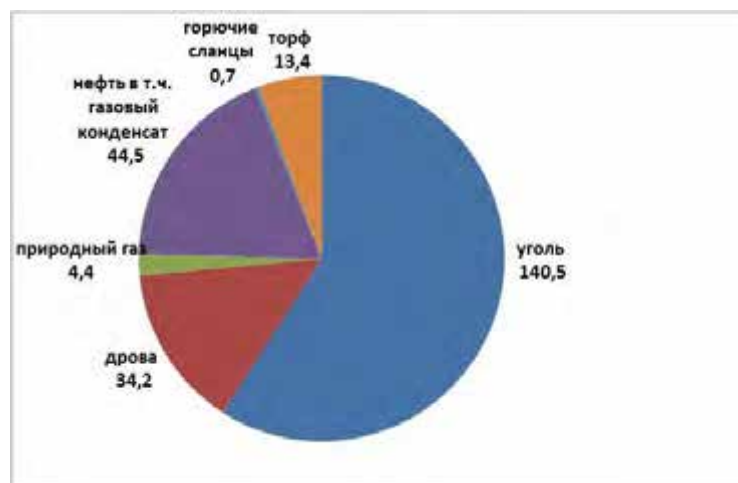


Рисунок 2.3 - Структура производства первичных топливно-энергетических ресурсов в 1940 г., млн. т.у.т. (Грунь, 2003)

Так, Е.Г. Язиковым и др. установлено, что в твердом остатке снеговых проб в районе ГРЭС-2 г.Томска преимущественно содержится Sb, La, Sm, Yb, Lu, U, Ta,Th,As, Sr и др.(Язиков, 2006; Филимоненко, 2013).

Л.П. Рихвановым с соавторами (2009) оценен ежегодный выброс в атмосферу радиоактивных материалов и токсичных элементов от ТЭЦ на угле электрической мощности 1000 МВт (таблица 2.1 и 2.2).

Таблица 2.1 - Оценка ежегодных выбросов в атмосферу радиоактивных материалов от ТЭС на угле электрической мощности 1000 МВт (Рихванов, 2009)

Изотоп	Выбросы, Бк/год	Изотоп	Выбросы, Бк/год	Изотоп	Выбросы, Бк/год
Ряд ^{238}U		Ряд ^{235}U		Ряд ^{232}Th	
^{238}U	$2,96 \cdot 10^8$	^{235}U	$1,295 \cdot 10^7$	^{232}Th	$1,85 \cdot 10^8$
^{234}Th	$2,96 \cdot 10^8$	^{231}Th	$1,295 \cdot 10^7$	^{228}Ra	$1,85 \cdot 10^8$
^{238}Pam	$2,96 \cdot 10^8$	^{231}Pa	$1,295 \cdot 10^7$	^{228}Ac	$1,85 \cdot 10^8$
^{230}Th	$2,96 \cdot 10^8$	^{227}Ac	$1,295 \cdot 10^7$	^{228}Th	$1,85 \cdot 10^8$
^{226}Ra	$2,96 \cdot 10^8$	^{227}Th	$1,295 \cdot 10^7$	^{210}Pb	$2,96 \cdot 10^8$
^{218}Ro	$2,96 \cdot 10^8$	^{223}Ra	$1,295 \cdot 10^7$	^{210}Bi	$2,96 \cdot 10^8$
^{214}Pb	$2,96 \cdot 10^8$	^{224}Ra	$1,85 \cdot 10^8$	^{210}Po	$2,96 \cdot 10^8$
^{214}Bi	$2,96 \cdot 10^8$	^{212}Pb	$1,85 \cdot 10^8$	$16,28 \cdot 10^8$	
^{214}Po	$1,295 \cdot 10^7$	^{212}Bi	$1,85 \cdot 10^8$	Выбросы радона	
^{211}Pb	$1,295 \cdot 10^7$	^{208}Tl	$1,85 \cdot 10^8$	^{220}Rn	$1,48 \cdot 10^{10}$
^{211}Bi	$1,295 \cdot 10^7$	$8,18 \cdot 10^8$		^{222}Rn	$2,96 \cdot 10^{10}$
^{207}Tl	$1,295 \cdot 10^7$			$452 \cdot 10^8$	
$24,2 \cdot 10^9$					
$5,0 \cdot 10^{10}$					

Таблица 2.2 - Количество токсичных элементов в выбросах ТЭС на угле электрической мощности 1000 МВт (Рихванов, 2009)

Элемент	Приблизительный ежегодный вынос, т/год	Элемент	Приблизительный ежегодный вынос, т/год
As	9	Hg	2
Ba	30	Ni	7
Cl	2	V	7
Mn	7		

Для территории Российской Федерации построены карты-схемы радиационных доз естественного гамма-излучения (Высокоостровская, 1996). Они учитывают вклад как от содержания естественных радионуклидов в поверхностных образованиях земной коры (рисунок 2.4), так и от космического излучения (рисунок 2.5), зависящего от абсолютных высот (рисунок 2.6).

Следует отметить, что в природе, в том числе, идут процессы с образованием изотопов плутония и других трансурановых элементов. Это достоверно установлено при исследовании природного ядерного реактора на месторождениях урана Окло, Богомбо (Габон) в 1972 году французскими исследователями (Франсуа Готье-Ляфей, Francis Weber, Vendryes, Simpson, Dran, Apt, Bros, Cancar, Ruffenach, Goffro, Gillon, Diouly-Osso, Kuroda, Nandet Roder, Brookins, Loubet Michel, Walton, Cowah George, Loss, Keller Cornelens и др.) (Рихванов, 2009).

Несмотря на чрезвычайно низкие содержания в природе плутония, образующегося при взаимодействии природного ^{238}U с нейтронами космического и земного происхождения за исторический масштаб времени планеты ($4,5 \cdot 10^9$ лет) из природного изотопа урана образовалось около 1000 т плутония. Он чрезвычайно рассеян в земном веществе, поэтому до недавнего времени не существовало аналитических методов его обнаружения (Рихванов, 2009).

На территории юга Сибири естественный радиационный фон в период до 1944 года определяется геологическими и гидрогеологическими условиями региона, его геохимической неоднородностью.

Наряду с природными геологическими, гидрогеологическим и геохимическими условиями начиная с середины 30-х годов на территории юга Сибири усиливает свое действие техногенный фактор.

Увеличение объема добычи и сжигания Кузбасского угля (ТЭЦ-1 на территории г. Томска, увеличивает свою мощность с 1000 к Вт (1927 год) до 8500 кВт к 1937 году), обусловило загрязнение природной среды пылеаэрозольными выбросами от сгорания углей.

Выход на полную мощность Новокузнецкого металлургического комбината, интенсивное развитие сельского хозяйства, использование минеральных удобрений с высоким содержанием естественных радионуклидов, отсыпка дорог в населенных пунктах шлаками с повышенным содержанием урана и тория - все это привело к интенсивному выносу естественных радиоактивных элементов из геологической среды в наземную оболочку планеты и перераспределению элементов между средами и организмами.

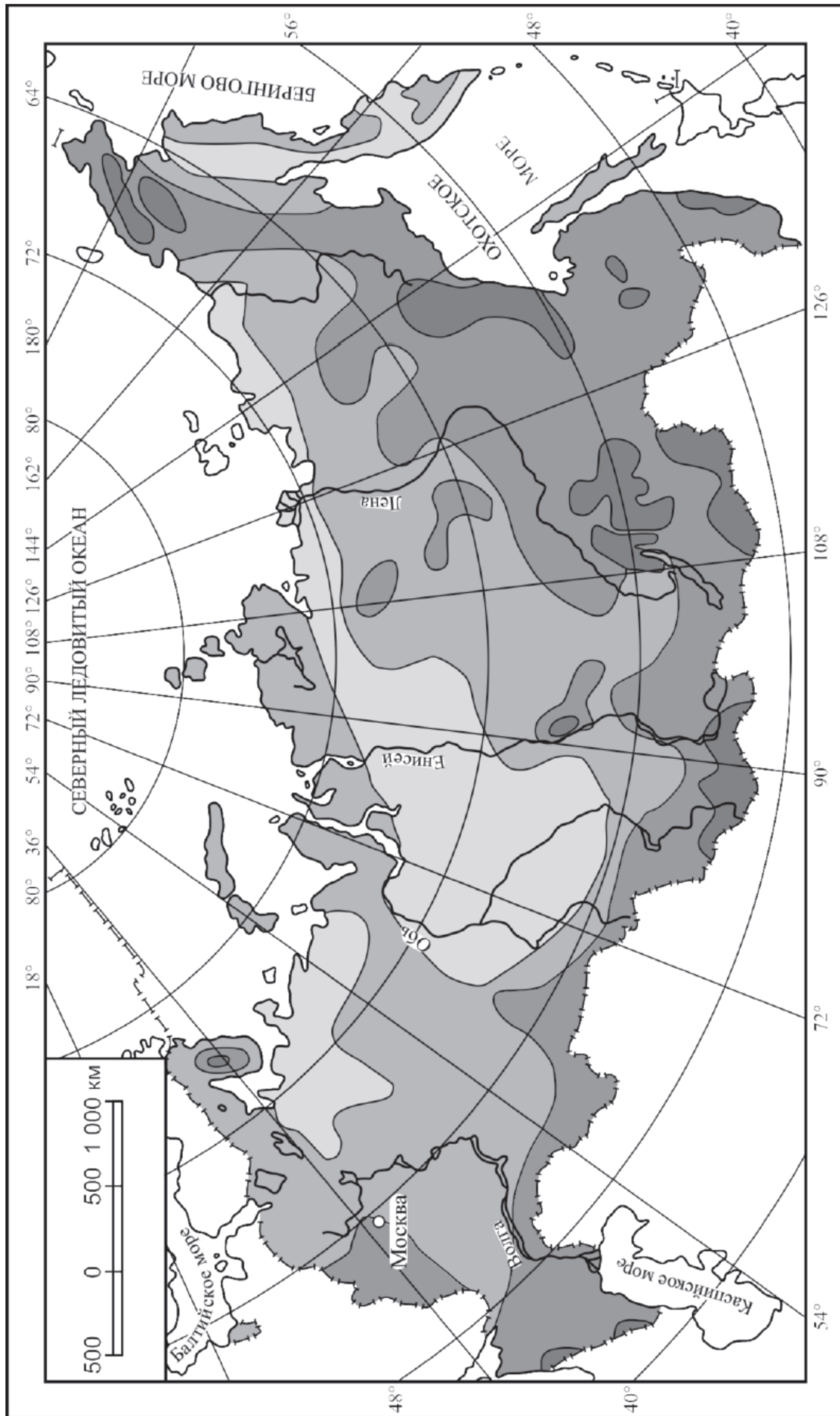


Рисунок 2.4 - Схема районирования территории России в зависимости от дозы естественного γ -излучения.

Зоны природной радиации, 10^{-2} мЗв/год: 1 – пониженный (до 60); 2 – умеренный (до 60-90); 3 – повышенной (до 90-135); 4 – высокой (до 135-500) (Высокоостровская и др., 1996)

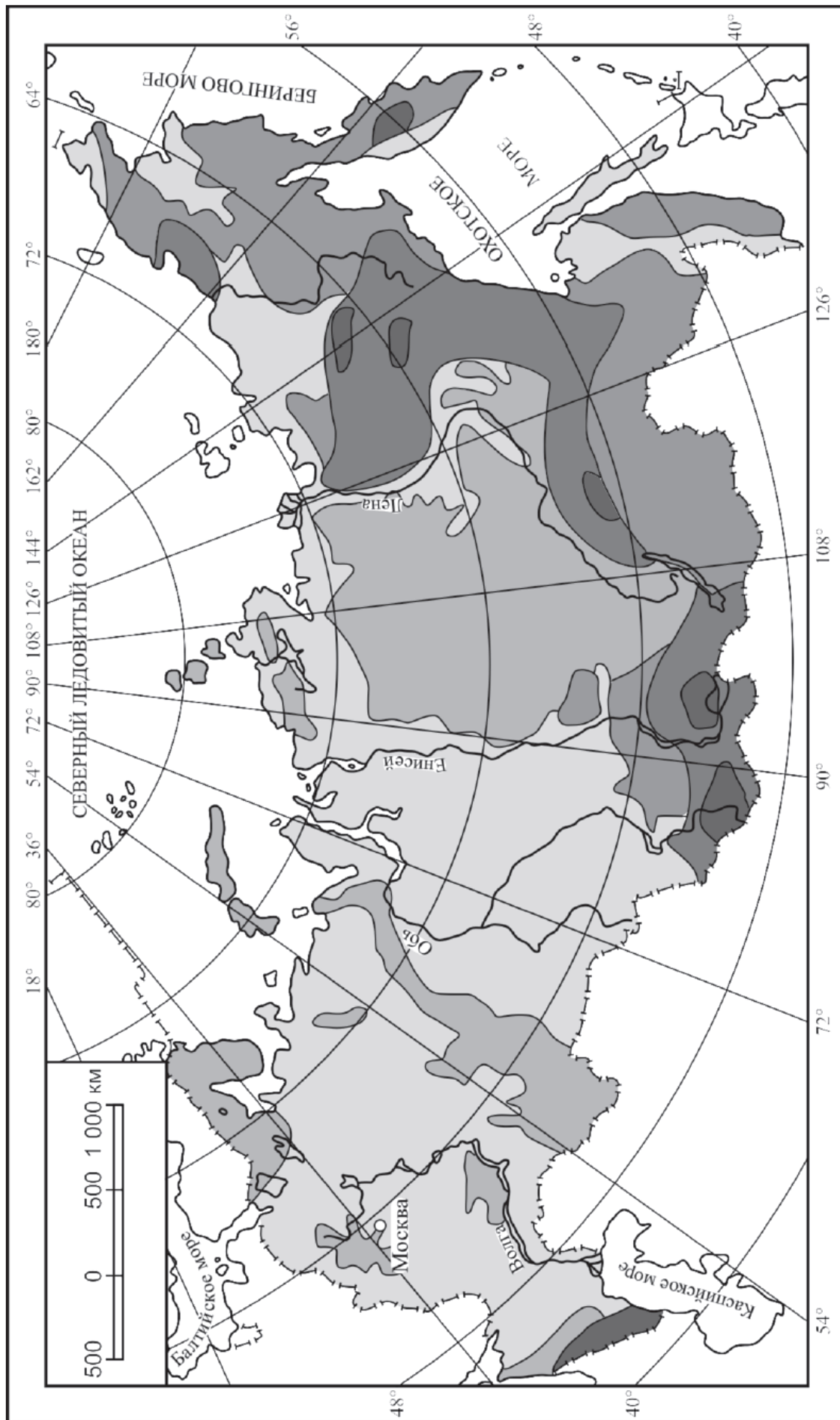


Рисунок 2.5 - Схема районирования территории России в зависимости от космического излучения (Геологический атлас России, 1996). Зоны космического излучения, мкЗв/год: 1 – < 300; 2 – 300-400; 3- 400-500; 4 – 500-1000; 5 - > 1000 (Высокоостровская и др., 1996)

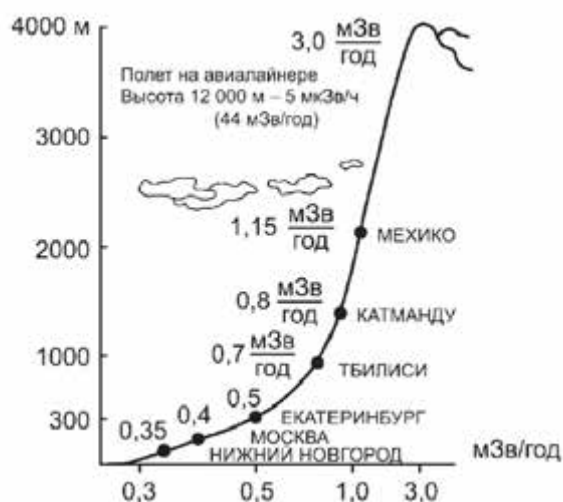


Рисунок 2.6 - Зависимость дозы, получаемой за счет космического излучения, от высоты местности над уровнем моря (Высокоостровская, 1996).

Растительные и животные организмы на протяжении многих миллионов лет эволюционировали и приспосабливались к меняющемуся содержанию радионуклидов в природной среде. По мере развития науки и инструментальных методов изучались содержания радионуклидов в растениях.

Для доядерного периода характерное содержание урана в травянистой растительности составляет $n \cdot 10^{-9}$ (Hoffman, 1941), а К.Г. Кунашевой, доказано, что радий содержится во всех как растительных, так и животных организмах, на примере более 100 видов организмов выяснен порядок содержания радия для растений $n \cdot 10^{-12} \%$. По данным автора содержание радия в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria* Maxim), собранном в заповеднике Петергофского естественно-научного института в 1932 году, составляет $5,1 \cdot 10^{-12}\%$ на живой вес (Кунашева, 1944).

Гоффман (Hoffman, 1941) определил содержание урана в золе растений района Вены (таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Содержание урана в древесине, семенах, морских водорослях и других растениях (Hoffman, 1941)

Вещество	Состояние	Количество зола, %	Содержание урана, %	
			в золе	в растениях
Древесина абрикоса	отмершая	1,73	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Древесина березы	живая	0,65	$5,9 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-8}$
Древесина сливы	живая	1,45	$8 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Виноградная лоза	живая	1,66	$4,8 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-9}$
Кукурузный стебель	отмерший	0,72	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-8}$
Табак	отмерший	15,5	$2,55 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Трава	живая	-	$8 \cdot 10^{-9}$	-
Зерно кукурузы	живое	-	$7,1 \cdot 10^{-7}$	-

Вещество	Состояние	Количество зола, %	Содержание урана, %	
			в золе	в растениях
Бобы	живые	0,58	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-9}$
Морская водоросль из пресной воды	живая	-	$9,1 \cdot 10^{-4}$	-

Л.С. Евсеева установила примерное содержание урана в растительности величиной $6,37 \cdot 10^{-6} \%$ (Евсеева, 1962).

Таким образом, даядерный временной промежуток по интенсивности привноса естественных радиоактивных элементов разделен на два периода. До конца 30-х годов содержание естественных радиоактивных элементов в растениях определялось в основном геологическим строением региона, литологическим составом подстилающих пород, составом вод, т.е. природным фактором. В конце 30-х годов в связи с резким увеличением добычи минеральных ресурсов, развитием промышленности, сельского хозяйства, индустриализацией интенсивность миграции и накопление в растительности естественных радиоактивных и редких элементов значительно возрастает, происходит вынос элементов из геологической среды в биосферу.

2.2 Характеристика геохимических особенностей биосферы ядерного периода

Ядерный период охватывает временной промежуток с 1945 по 1963 годы. Геохимическая обстановка в данном периоде определялась одним важным фактором - человек стал искусственно создавать радионуклиды, которые в природе встречались в незначительных количествах или не встречались совсем и использовать их.

В данном периоде основными источниками поступления радионуклидов в природную среду стали наземные, надземные, воздушные, высотные, подводные и космические испытания ядерных устройств на военных полигонах по всему миру и в бывшем СССР в частности (Семипалатинский, Новоземельский, Невадский, и др.) (Логачев, 2003; Рихванов, 2009).

Боевые действия с использованием снарядов и бомб, в конструкции которых используется ^{238}U , аварии с летательными аппаратами, аварии на атомных электростанциях и реакторах, на надводных и подводных кораблях, космических аппаратах, использующих реакторы и ядерные устройства, инциденты с оружием, деятельность предприятий ядерно-топливного цикла и энергетических ядерных реакторов, захоронение радиоактивных материалов – все это обусловило глобальное рассеивание радионуклидов в окружающую среду, в том числе биосферу.

Согласно данным Гринвуда и Эрншо 20 элементов, которые создал человек, включая технеций и прометий составляют 1/5 часть от числа всех известных элементов (Гринвуд, 2008).

С момента открытия деления изотопа ^{235}U (конец 1938 начало 1939 гг.) стало понятно, что человечество находится на грани освоения уникального источника энергии – энергии деления ядра атома, когда при распаде одного ядра ^{235}U выделяется 212 МЭВ энергии, а реакция является цепной и самоподдерживающейся (Рихванов, 2009).

В основе использования энергии атомного ядра лежит ядерно-топливный цикл (ЯТЦ), который включает в себя добычу, переработку и обогащение радиоактивного сырья.

Первым предприятием в СССР по промышленному получению урана-235 и плутония-239 стал Комбинат № 817 – ныне производственное объединение «Маяк». В состав предприятия первоначально вошли: уран-графитовый реактор; радиохимический завод по выделению плутония из облученного в реакторе урана и химико-металлургический завод по производству металлического плутония (<http://www.po-mayak.ru>, 2014).

В начале 50-х гг. в Томской области в г. Северск открылся Сибирский химический комбинат (СХК) – крупнейшее в России и в мире предприятие по производству оружейного плутония. В его состав входят: реакторный завод, завод по разделению изотопов, сублиматный завод, радиохимический завод, химико-металлургический завод. За счет этого СХК реализовывал на своей площадке практически полный цикл ядерных производств (<http://www.atomsib.ru>, 2014).

В 1949 году вошел в строй Уральский электрохимический комбинат в г. Новоуральске в 50 км от г. Екатеринбурга. На комплексе работают несколько обогатительных каскадов, составленных из центрифуг четвертого и пятого поколения (<http://www.ueip.ru>, 2014).

Первые ядерные производства являлись крайне опасными объектами. Работы по проектированию, испытанию и эксплуатации объектов велись в условиях жесткого лимита времени. Испытания, наладка и ввод в эксплуатацию агрегатов и систем производились, что называется, «на ходу». Безопасное хранение радиоактивных отходов обеспечено не было, случались частые аварии (взрывы технологических емкостей, хранилищ отходов, возникновение самоподдерживающихся цепных реакций), в результате которых загрязнялись огромные территории. Жидкие радиоактивные отходы ПО «Маяк» сбрасывал непосредственно в открытую речную систему Теча – Исеть-Тобол и оз. Карачай, всего было сброшено 76 млн. м³ сточных вод с общей активностью по β -излучениям свыше 2,75 млн. Ки (Позолотина, 2004).

Район ПО «Маяк» характеризуется высокой степенью загрязненности в результате аварии в 1957 г. - взрыв емкости с жидкими радиоактивными отходами и образование Восточно-Уральского радиоактивного следа – ВУРС (рисунок 2.7). Основные нуклиды выброса: ^{144}Ce (66%), ^{95}Zr (25%) и ^{90}Sr (5%). Радиоактивные вещества в этих аэрозолях находились в хорошо растворимых соединениях – нитратах. Радиоактивное облако под действием ветра прошло над территорией Челябинской, Свердловской и Тюменской областей. Плотность загрязнения ^{90}Sr более 0,1 Ки/км² составила 23 тыс. км² (Булатов, 1996; Рихванов, 2009).

На рисунке 2.8 представлена динамика выброса ^{131}I , видно, что с 1949 по 1955 гг. выбросы радиоактивного йода были колоссальны - около $1 \cdot 10^5$ Ки/год (Рихванов, 2009).



Рисунок 2.7 - Схематическая карта Восточно-Уральского радиоактивного следа (Рихванов, 2009)

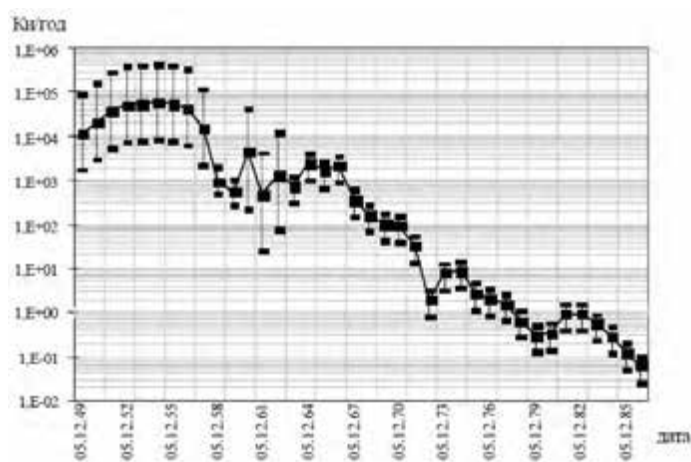


Рисунок 2.8 - Динамика мощности выбросов ^{131}I ПО «Маяк» (Рихванов, 2009)

По хронологии, основанной на открытых данных (United..., 2000), в мире в период с 1945 по 1963 гг. (в 1963 году вступил в силу мораторий на проведение ядерных испытаний в трех средах) произведено около 442 ядерных взрывов в атмосфере и под водой. Причем, известно, что испытания государства закончили не одновременно: Великобритания в 1958г., СССР в 1962 г., США в 1963 г., Франция в 1974 г., Китай в 1980г. (Булатов, 1996).

Сводные данные по количеству испытаний в мире и их суммарной мощности в атмосфере, под водой и в космосе в период с 1945 по 1963 гг. представлены в таблице 2.4 (United..., 2000).

Таблица 2.4 - Сводные данные по количеству испытаний в мире и их суммарной мощности в атмосфере, под водой и в космосе в период с 1945 по 1963 гг. (по United..., 2000)

Страна, полигоны, места	Количество, шт	Суммарная мощность, Мт
США	217	153,8
полигон Невада	100	
Тихий океан	106	
другие места	11	
Бывший СССР	225	257
полигон Новая Земля	91	
Семипалатинский испытательный полигон	122	
Тоцкий, Капустин Яр и др.	12	
Итого:	442	410,8

Испытания ядерного оружия не прошли для биосферы бесследно. На рисунке 2.9 представлена динамика по годам эффективных доз облучения жителей Северного полушария Земли как отдельными радионуклидами, образовавшимися в результате проведения ядерных испытаний в атмосфере, так и их суммой (Логачев, 2003).

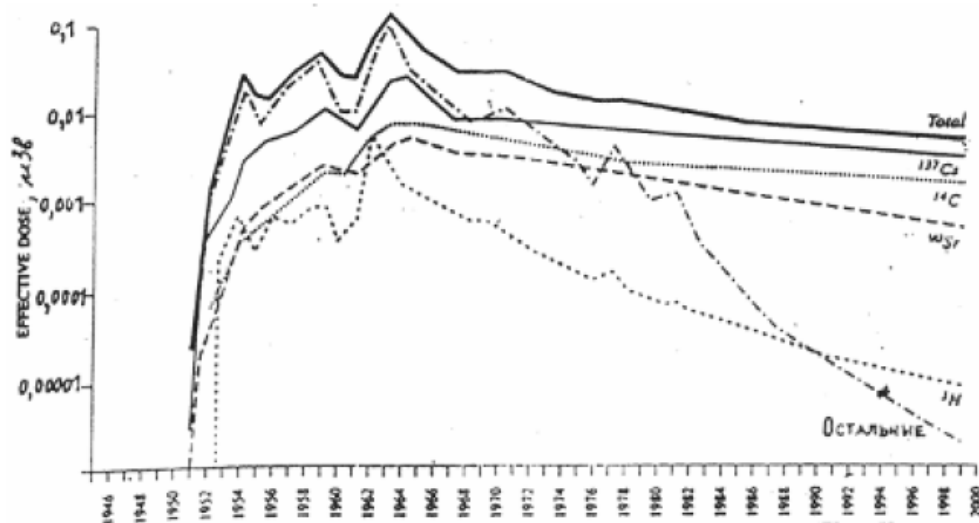


Рисунок 2.9 - Ежегодные эффективные дозы облучения жителей Северного полушария Земли (Логачев, 2003).

Анализ уровня накопления Pu в стратифицированных образованиях свидетельствует о том, что его глобальные выпадения на планете приурочены к определенным временным интервалам. Отмечено, что в период с 1965 г. по 1966 г. во льдах Антарктики выпало максимальное количество ^{238}Pu (рисунок 2.10) (Рихванов, 2009).

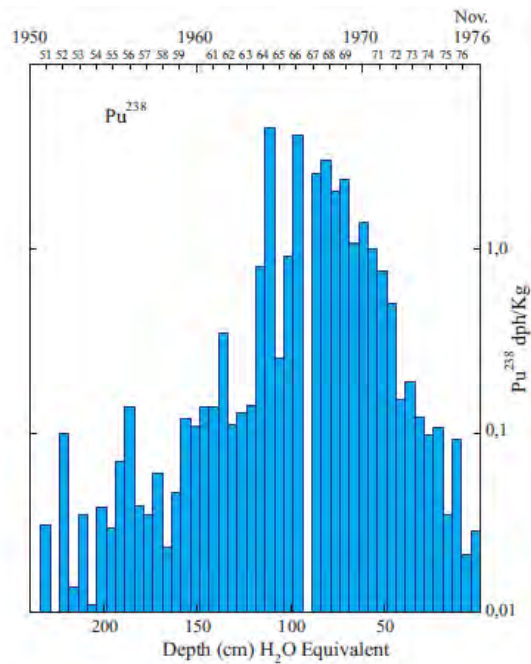


Рисунок 2.10 – Динамика изменения удельной активности ²³⁸Pu во льдах Антарктики (по Minoru Koude, 1979)

Загрязнение, вызванное испытаниями ядерного оружия в атмосфере, испытали на себе все природные среды, в том числе биосфера, и как основная ее компонента - растительность. В этот период времени ведутся интенсивные исследования действия ионизирующего излучения и содержания радионуклидов в растительности, животных и человеке.

По данным Д.П. Малюги среднее содержание урана в золе растений суши составляет $5 \cdot 10^{-5}\%$ (Малюга, 1956), что на порядок превосходит среднее содержание урана в доядерном периоде.

Кеннон и Клейнхемпл определяли содержание урана в золе многих растений плато Колорадо. Содержание урана в золе деревьев, растущих на безрудных участках, колебалось от $2 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-4}\%$ (Кэннон, 1958), что также на один, два порядка выше, чем среднее содержание урана в доядерном периоде.

В Японии Мураками и др. установили, что в безрудном районе зола сосны содержит урана $2,1 \cdot 10^{-4}\%$, а зола кипариса – $4 \cdot 10^{-5}\%$ (Мураками, 1959).

С.М. Ткалич указывает, что среднее содержание тория в золе наземных растений составляет $n \cdot 10^{-5} \%$, а наиболее высокое содержание – 0,1% с контрастностью накопления в разных видах до 2000 раз.

Геохимическая обстановка на территории юга Сибири в период с 1945 по 1963 годы в основном определялась испытаниями ядерного оружия на Семипалатинском испытательном полигоне, Тозком полигоне и на полигоне Новая Земля. Вследствие этих испытаний

происходило глобальное загрязнение радиоактивными веществами всей территории юга Сибири и других территорий.

Также необходимо учитывать вклад предприятий ядерно-топливного цикла (СХК, ПО «Маяк») и аварийных ситуаций на них в загрязнение среды радионуклидами в тот период.

Вынос естественных радионуклидов обуславливала работа ТЭЦ и ГРЭС на угле. В мае 1945 года вступила в работу Томская ГРЭС-2 и до 1980 года она работала только на угле (<http://tgk11.com/action/filials/tomsk>, 2014).

На территорию Алтайского края оказало существенное влияние проведение испытаний на Семипалатинском полигоне. Ядерный взрыв 29 августа 1949 года был первым советским, его траектория и следы проходят через всю Сибирь и особенно сильное воздействие испытал Алтайский край (рисунок 2.11) (Последствия..., 2003). Ранжирование последующих взрывов по степени радиационного воздействия дает следующий ряд (Булатов, 1996):

29.08.49г. —→ 07.08.62г. —→ 29.07.55г. —→ 22.11.55г. —→ 25.09.62г. —→ 15.01.65г

Комплексное исследование радиоактивного загрязнения почв, растительности и водоемов долгоживущими радионуклидами показало, что плотность загрязнения почв цезием-137 и стронцием-90 в ряде населенных пунктов: пос. Андреевский – 215 мКи/км², с. Бугрышиха – 262 мКи/км², с. Саввушка – 340 мКи/км² при средней для края 65 мКи/км². Отмечены пункты с относительно высоким загрязнением плутонием (г. Локоть, с. Наумовка). Обнаружено 6 пятен (Северское, Бостанское, Топольское, Чарышское, Саввушкинское, Змеиногорское) с максимальным запасом цезия -137: 300 – 400 мКи/км² (Последствия..., 2003).

Также в связи с отсутствием газа на территории Алтайского края и Республике Алтай, основным топливом для ТЭЦ и ГРЭС был уголь, соответственно естественные радионуклиды также вносили свой вклад в общую радиоэкологическую ситуацию в регионе.

Многократное пространственное совмещение следов радиоактивных облаков в условиях их «растаскивания» горно-долинными воздушными потоками, а также неоднократное наложение глобальных атмосферных выпадений, обусловили интегральный характер концентраций техногенных радионуклидов (рисунок 2.12). На выпадение и перераспределение радионуклидов в большей степени влияли орографические и климатические условия Республики Алтай (Робертус, 2004).

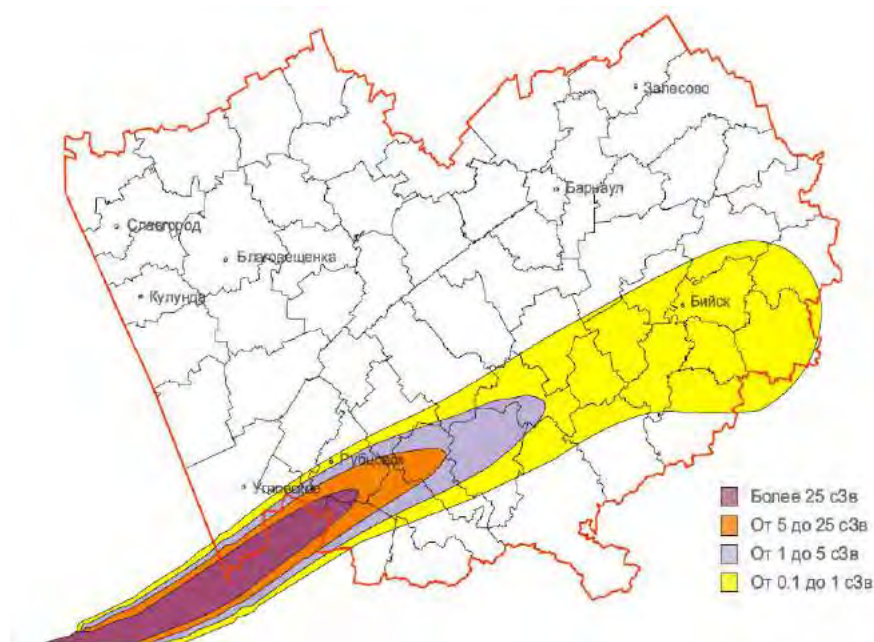


Рисунок 2.11 - Карта-схема радиоактивного следа от ядерного взрыва 29.08.1949 г.
(Последствия..., 2002).

На территорию Томской области, также оказывали влияние проводимые испытания на Семипалатинском испытательном полигоне, на полигоне Новая Земля, а также Тоцкие учения (рисунок 2.13) (Рихванов, 2009).

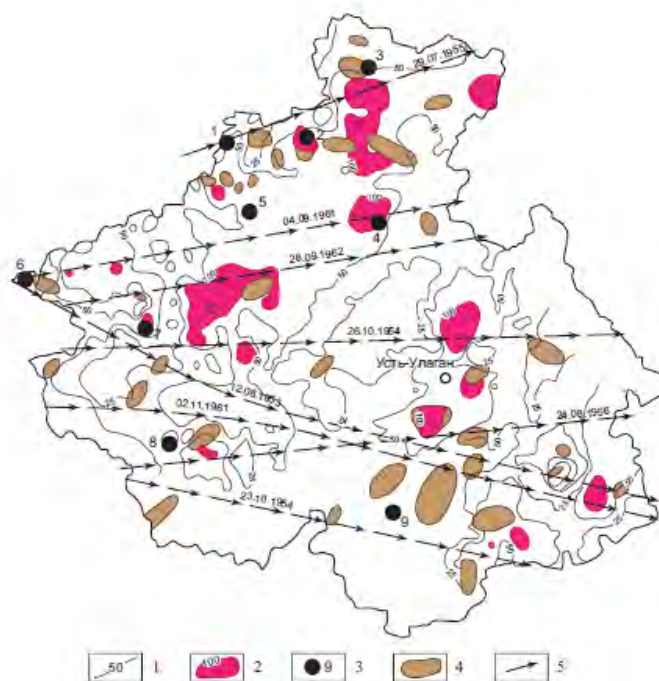


Рисунок 2.12 - Схема техногенного радиоактивного загрязнения территории Республики Алтай
(Робертус, 2004)

1 – изоплотности загрязнения почв ^{137}Cs ($\text{мКи}/\text{км}^2$); 2 – участки с загрязнением почв ^{137}Cs превышающим фон глобальных выпадений в 2 раза и более; 3 – места взятия спилов деревьев на изучение методом осколочной радиографии; 4 – очаги прошлого радиоактивного загрязнения почвенного покрова; 5 – предполагаемые осевые зоны радиоактивных следов некоторых ядерных взрывов на СИП в 1949-1962 гг.



Рисунок 2.13 - Схема траекторий движения радиоактивных облаков с испытательных полигонов (Рихванов, 2009)

Глобальный фон радиоактивных выпадений (по стронцию-90 и цезию-137) достиг максимума в 1963 году и составил $0,03 \text{ Ки/км}^2$ (Логачев, 1994).

Таким образом, ядерный временной период характеризуется интенсивным поступлением ранее не существовавших радионуклидов в природную среду, причем, масштаб поступления глобален. Искусственные радионуклиды включаются в биогеохимические циклы, трофические цепи и обнаруживаются как в растениях, так и в животных и человеке. Наряду с этим продолжается поступление естественных радионуклидов вследствие сжигания угля, разработки месторождений урана и его последующей переработки.

2.3 Характеристика геохимических особенностей биосферы современного периода

Современный период времени соответствует временному промежутку от 1964 по 2012 год. В это время интенсивные ядерные испытания в атмосфере больше не проводились, за исключением серии атмосферных взрывов на полигоне Лобнор в 1967, 1969, 1970, 1973, 1974, 1976 и 1980 гг. (Булатов, 1993).

Из важных факторов воздействия на биосферу остается деятельность предприятий ядерно-топливного цикла, аварии на данных предприятиях, масштабная Чернобыльская авария,

а также ядерные взрывы в мирных целях, воздействие от которых, конечно, менее масштабно, и носит, как правило, локальный характер (рисунок 2.14) (Булатов, 1993).



Рисунок 2.14 - Схематическая карта распределения подземных ядерных взрывов на территории СССР (Булатов, 1993)

На Сибирском химическом комбинате в данный период произошло более 20 аварий и инцидентов, самая крупная из которых случилась 6 апреля 1993 года — разрушение технологического оборудования, сопровождающееся взрывом газа, разрушением нескольких производственных зданий и выбросом аэрозолей в окружающую среду. Индекс по международной шкале ядерных событий INES—3 (Рихванов, 1997). Образовался узкий радиоактивный след длиной до 35 км в северо-восточном направлении от СХК, образованный в основном ^{106}Ru , ^{103}Ru , ^{95}Nb , ^{95}Zr (Радиационная обстановка..., 2011). В зоне радиационного загрязнения оказались населенные пункты Георгиевка, Черная Речка (рисунок 2.15).

Проявленность СХК четко фиксируется в различных геохимических средах. Так, повышенные концентрации плутония в почвах четко локализуются возле источника поступления данного радионуклида в окружающую среду (рисунок 2.16). Плутоний обнаружен в донных отложениях, торфах, растительности, в волосах детей (Рихванов, 2009).

На территориях подвергшихся влиянию предприятий ядерно-топливного цикла уровни загрязнения изотопами плутония характеризуются повышенными значениями в сравнении со значениями, характерными для «глобальных выпадений». В 30-ти километровой зоне таких предприятий, как ПО «Маяк» (Челябинская область), Горный химический комбинат (ГХК) (Красноярский край) и Сибирский химический комбинат (Томская область) фиксируются значения удельных активностей изотопов плутония, превышающих глобальные выпадения в несколько раз (Сухоруков, 2004; Уткин, 2004; Позолотина, 2004).

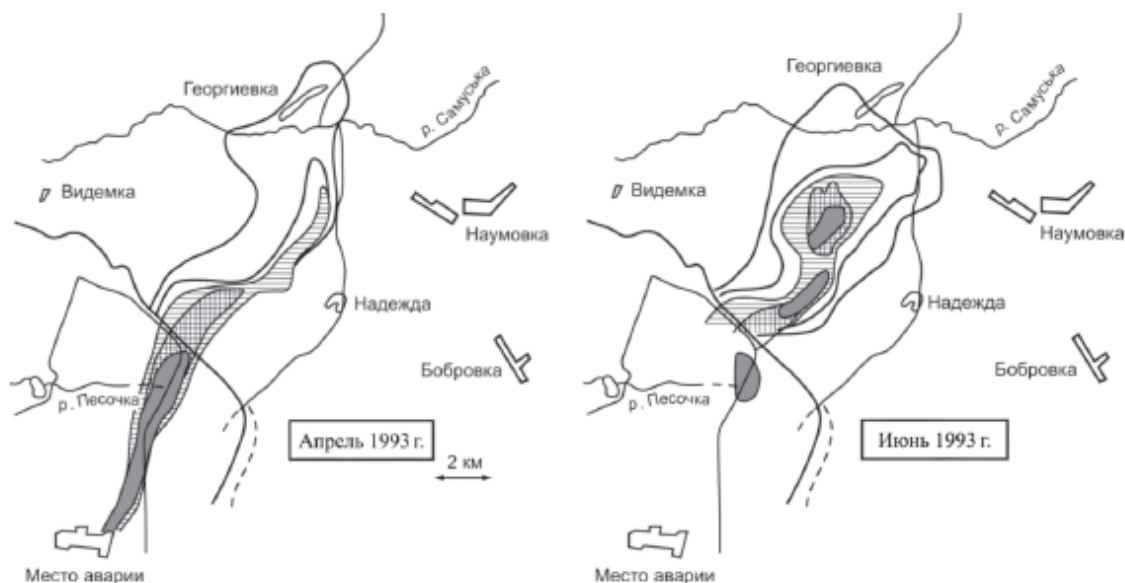


Рисунок 2.15 - Схема зоны радиоактивного загрязнения по данным аэро-гамма съемки (Рихванов, 2009).

Еще один крупнейший источник поступления радионуклидов в биосферу в современном периоде явилась Чернобыльская авария, произошедшая 26.04.1986 года. Ее последствия, обнаруживаются во всех природных средах и на всех континентах (рисунок 2.17).



Рисунок 2.16 - Схема загрязнения почв ^{239}Pu в районе г. Северск Томской области (Рихванов, 2009)

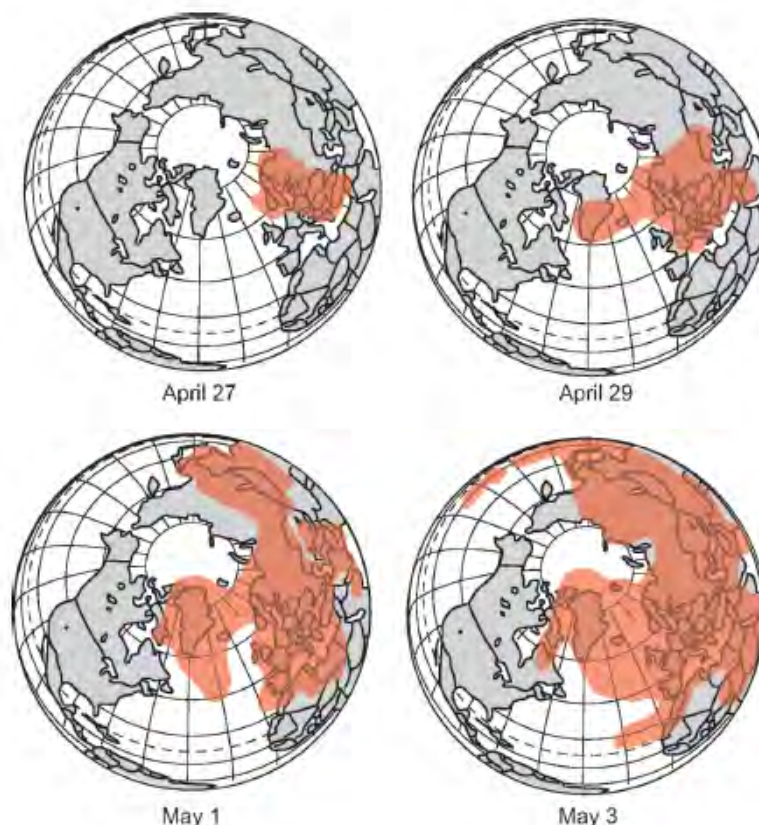


Рисунок 2.17 - Распространение радиоактивного загрязнения по планете после Чернобыльской катастрофы 26.04.1986 года (Рихванов, 2009)

Для наземной растительности в современном периоде характерны показатели содержания урана около 2-20 мг/кг (сухое вещество, по В.В. Ермакову). Так же автор по литературным данным приводит колебания содержания урана в живых организмах от 1-10 мг/кг сухого вещества (св) в наземных животных, до более 40 000 мг/кг сухого вещества в бактериях (Ермаков, 2009).

Широкий интервал содержаний урана в наземной растительности приведены Г.Боуэном – от 5 до 69 мг/кг (св) (Bowen, 1979). Согласно данным В.К. Бернатониса содержания тория в травянистой растительности Большого Васюганского болота составляет от 0,14 мг/кг (на евтотрофных участках) до 0,16 мг/кг (на мезотрофных участках) (Бернатонис, 2002).

Исследования, проведенные Т.А. Асваровой, Г.Н. Гасановым и А.С. Абдулаевой показали, что содержание ^{238}U и ^{232}Th в золе травянистой растительности Теско-Кумской низменности изменяются в пределах величины $X \cdot 10^{-4}$. (Асварова, 2014).

Таким образом, в современном периоде продолжается эмиссия как искусственных, так и естественных радионуклидов в природную среду. Ядерные взрывы в атмосфере прекратили все государства, имеющие ядерное оружие, кроме Китая и Франции. Технология получения радионуклидов стала более совершенной и аварий и инцидентов на предприятиях ЯТЦ стало

значительно меньше, но так или иначе вследствие локальных аварий, а также Чернобыльской катастрофы происходит поступление радионуклидов в биосферу.

В условно выделенных нами временных периодах развития биосферы, с точки зрения развития ядерного техногенеза, отчетливо прослеживается сложность взаимодействия как природных, так и антропогенных факторов, что отражается на химическом составе природных сред. Каждый условно выделенный этап развития биосферы характеризуется привнесением целого комплекса определенных элементов, причем многие из них впервые созданы человеком. Исходя из литературных данных, в травянистых растениях суши, начиная с конца 30-х годов по настоящее время, на 3-5 порядков увеличилось содержание урана и тория. А начиная с 1949 года техногенные радионуклиды интенсивно поступали в биосферу тем самым безвозвратно изменив ее химический состав. Растения, как часть биосферы, отражают в своем составе как атмосферное, так и почвенное загрязнение и являются надежным индикатором как природных, так и антропогенных аномалий. Поэтому анализ их состава может быть показательным при рассмотрении динамики изменения биосферы в условиях развития ядерного техногенеза.

3 Методика исследований и методы анализа

3.1 Методика отбора проб

Объектами нашего исследования являются три вида растений: черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim).

Данные виды характеризуются широкой экологической амплитудой. Наиболее часто они произрастают в светло- и темно-хвойных, а также мелколиственных лесах бореальной зоны, где занимают господствующее положение в травяно-кустарничковом ярусе (Рысин, 2002). Многими авторами подчеркивается их биоиндикационная надежность (Асварова, 2014; Барановская, 2003; Бубенчикова, 2006, 2011; Егорова, 2009, 2012; Ельчининова, 2006; Зыкова, 2012; Кайзер, 2013; Мешкина, 2010; Молчанова, 2014; Петрунина, 1999, 2000; Позолотина, 2004; Шилова, 2010).

Отбор проб растительного материала проводился в соответствии с ГОСТ 27262-87, ГОСТ 24027.0-80. Надземную часть растений собирали в период цветения, в начале плодоношения. Отбор проб был произведен на территории Томской области в летний период 1999, 2004, 2005, 2011, 2012 гг. Высушенное воздушным способом сырье измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Также были отобраны образцы гербарного растительного материала в гербарии им. П.Н. Крылова Национального исследовательского Томского государственного университета и в гербарии Государственного Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН.

Всего проанализировано 259 проб растительного материала. Из них лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim) - 154 шт., брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) - 36 шт. и черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*) - 69 шт.

Отбор проб почв производился в местах отбора проб современного растительного материала на территории Томской области. Отбор и подготовка проб проводилась в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84. Всего проанализировано 78 почвенных проб.

3.2 Методы анализа

В работе были использованы следующие методы анализа проб (таблица 3.1):

- Нейтронно-активационный анализ (ИНАА);

- Анализ индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (ИСП-МС);

- Альфа-спектрометрический анализ с радиохимической подготовкой проб.

Все анализы проводились в современных лабораториях имеющих аккредитацию.

Таблица 3.1 – Материалы и методы исследования

Объект исследования	Общее количество проб, шт		Регион	Вид анализа
	Гербарный материал	Современный материал		
Черника обыкновенная <i>Vaccinium myrtillus</i>	18	17	Томская область	ИНАА
	9	3		Альфа-спектрометрический с радиохимической подготовкой
	5	3		ИСП МС
	13		Республика Алтай	ИНАА
	1		Кемеровская область	ИНАА
Брусника <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	14	11	Томская область	ИНАА
	6	2		ИСП МС
	1		Республика Алтай	ИНАА
	1		Республика Хакасия	ИНАА
	1		Красноярский край	ИНАА
Лабазник вязолистный <i>Filipendula Ulmaria (L) Maxim</i>	16	42	Томская область	ИНАА
	3			Альфа-спектрометрический с радиохимической подготовкой
	27		Республика Алтай	ИННА
	30			Альфа-спектрометрический с радиохимической подготовкой
	18		Новосибирская область	ИНАА
	9		Республика Хакасия	ИНАА
	9		Красноярский край	ИНАА
Итого проб растительного материала: 259	181	78		
Почва		78	Томская область	ИНАА
Итого проб почв: 78				

Обработка результатов осуществлялась с использованием программ Statistica, MS Excel и Word, графических редакторов: CorelDraw.

3.2.1 Инструментальный нейтронно-активационный анализ

Растительность представляет собой сложный объект для геохимических исследований в связи с низким содержанием элементов-примесей в исходном сухом веществе. Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) – это современный высокочувствительный метод анализа, который позволяет дискретным образом определять элементы, без учета химической формы образца, сосредотачиваясь исключительно на ядрах элементов. Метод не требует специальной подготовки проб, что особенно важно при анализе гербарного материала ввиду его малого количества и уникальности. Особым преимуществом этого метода является то, что он не разрушает образец (Колесник, 1987).

Метод основан на нейтронной активации и, следовательно, требуется источник нейтронов. Образец подвергается бомбардировке нейтронами, в результате чего образуются элементы, с радиоактивными изотопами, обладающими коротким периодом полураспада. Радиоактивное излучение и радиоактивный распад хорошо известны для каждого конкретного элемента. Используя эту информацию, можно изучать спектры излучения радиоактивных образцов растительности и определять в них концентрации элементов (Колесник, 1987).

Анализ образцов выполнен согласно инструкции НСАМ ВИМС № 410-ЯФ на исследовательском ядерном реакторе Томского политехнического университета в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии, имеющей аккредитацию, под руководством старшего научного сотрудника А.Ф. Судыко. Метод ИНАА, реализуемый в лаборатории, используется также для аттестации стандартных образцов состава (СОС) как отечественных, так и зарубежных (МАГАТЭ, Германия, Япония, Индия и др.) (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Сравнительная оценка результатов элементного анализа, полученного методом ИНАА, с паспортными данными национальных и международных стандартов

Элемент	ЭК-1		ЗУК – 1 (Россия)		БИЛ – 1 (Россия)		SD-M2/TM (МАГАТЭ)	
	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ
Na (%)	0,69	0,64	0,24	0,205	1,93	1,74	1,35	1,35
Ca (%)	2,9	2,8	20,98	12,04	1,86	6,76	11,2	7,9
Sc	0,38	0,41	12,6	13	13	16	10,3	10,5
Cr	5,2	5,6	45	44	67	69	77,2	79,0
Fe (%)	0,26	0,29	6,26	6,28	7,01	7,13	2,71	2,87
Co	1,5	1,6	17	14	18,5	17	13,6	14,4
Zn	20,6	-						
As	0,76	-						
Br	32,6	25,0						

Элемент	ЭК-1		ЗУК – 1 (Россия)		БИЛ – 1 (Россия)		SD-M2/TM (МАГАТЭ)	
	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ	паспорт	ЯГЛ
Rb	3,5	3,2	16	45,6	96	118	99,7	104
Sr	175	198						
Sb	-	-	1,58	1,58	1,5	1,52	0,99	1,19
Cs	0,11	0,12	2,25	2,25	5,9	6,7	8,05	8,3
Ba	0,008	0,01	2380	2500	670	864	252	247
La	2,05	2,03	23	18,8	51	40	26,2	27,2
Ce	3,4	4,0	39	31	81,5	70	54,3	50,3
Sm	0,31	0,38	4,6	3,75	7,9	6,79	4,27	4,78

Примечание: ЭК-1 – элодея канадская; ЗУК – зола углей каменных; БИЛ-1 – байкальский ил; SD-M2/TM – морские осадки

Достоверность анализа подтверждается многочисленными контрольными определениями на разных средах (почва, уголь, сухое молоко, листья березы (рисунок 3.1) и др.). ИНАА позволяет в различных пробах определять в широком диапазоне (от $n \cdot 1\%$ до $n \cdot 10^{-6}\%$) содержание 28 химических элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U). Пределы определения элементов приведены в таблице 3.3.

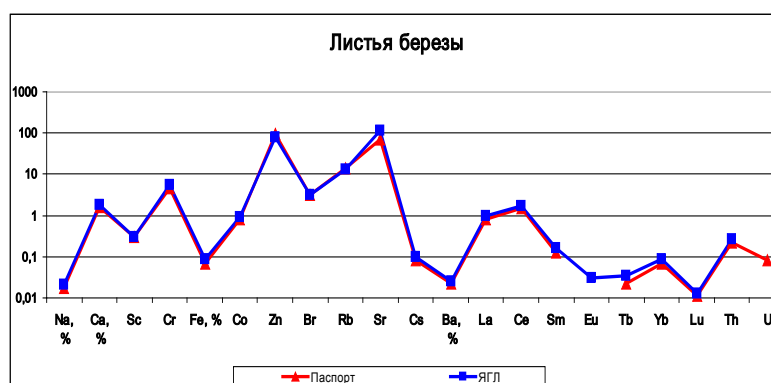


Рисунок 3.1 – Сопоставление результатов ИНАА (паспорт – ядерно-геохимическая лаборатория (ЯГЛ)), мг/кг

Таблица 3.3 - Пределы определения содержаний элементов в различных объектах методом ИНАА

Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг
Na	20	Rb	0,6	Eu	0,001
Ca	300	Sr	1	Tb	0,001
Sc	0,002	Ag	0,02	Yb	0,05
Cr	0,1	Sb	0,007	Lu	0,001
Fe	10	Cs	0,5	Hf	0,01
Co	0,1	Ba	3	Au	0,002
Zn	2	La	0,007	Th	0,01
As	1	Ce	0,01	U	0,01
Br	0,3	Sm	0,01		

При фиксировании элемента ниже данного порога при расчете использовалось половина порогового значения (Михальчук, 2006).

3.2.2 Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой

Анализ выполнялся в лаборатории Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск (аккредитация Госстандарта России № РОСС RU.0001.513593). Этим видом анализа было определено количественное содержание 52 химических элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) и чернике (*Vaccinium myrtillus*), собранных в п. Тимирязево Томской области.

Сравнительный анализ определения элементов методами инструментального нейтронно-активационного анализа (ядерно-геохимическая лаборатория НИ ТПУ, г. Томск) и индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (лаборатория Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск) позволяет говорить об удовлетворительной сходимости данных методов по ряду элементов (рисунок 3.2). Пределы определения элементов методом ИСП-МС приведены в таблице 3.4.

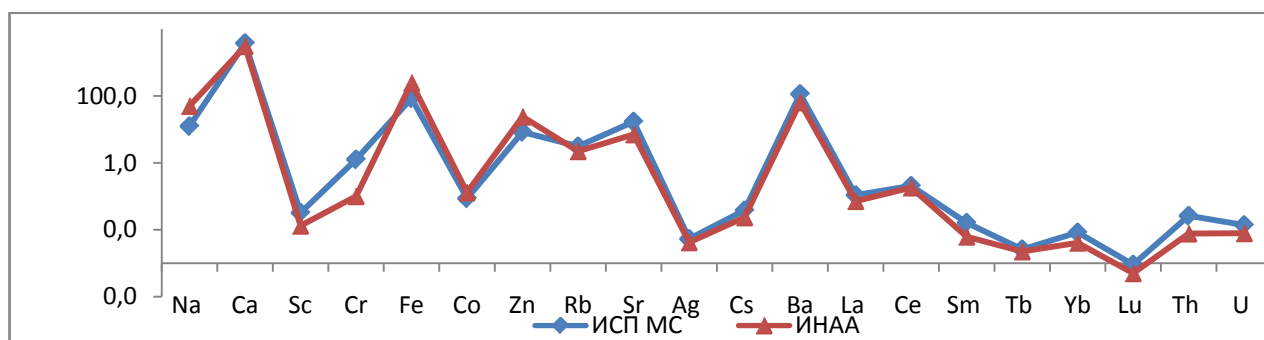


Рисунок 3.2 - Сходимость результатов анализов ИНАА (ядерно-геохимическая лаборатория НИ ТПУ, г. Томск) и ИСП-МС (лаборатория Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск), мг/кг сухого вещества

Таблица 3.4 - Нижние пределы определения содержаний элементов методом ИСП-МС

Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг
Li 7	0,68	Se 77	1,1	Sm 149	0,03
Be 9	0,03	Rb 85	0,23	Eu 151	0,013
B 11	11	Sr 88	0,60	Gd 160	0,007
Al 27	245	Y 89	0,07	Tb 159	0,04
P 31	539	Zr 90	3,75	Dy 162	0,03
S 34	444	Nb 93	1,24	Ho 165	0,004
Ti 47	46	Mo 95	0,40	Er 167	0,01
V 51	0,81	Ag 109	0,15	Tm 169	0,002
Cr 52	1,9	Cd 111	0,05	Yb 171	0,015
Mn 55	0,76	Sn 120	0,66	Lu 175	0,004
Fe 56	3,5	Sb 121	0,22	Hf 178	0,18
Co 59	0,05	Cs 133	0,03	W 184	3,4
Ni 60	1,2	Ba 138	2,9	Pb 208	1,1

Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг	Элемент	Предел, мг/кг
Cu 63	0,94	La 139	0,22	Bi 209	0,23
Zn 66	9,1	Ce 140	0,30	Th 232	0,15
Ga 71	0,10	Pr 141	0,04	U 238	0,02
Ge 74	0,04	Nd 143	0,13		

3.2.3 Альфа-спектрометрия с радиохимической подготовкой проб

Альфа спектрометрический анализ проб на содержание изотопов плутония проводился в лаборатории изотопной спектрометрии кафедры ГЭГХ ИПР НИ ТПУ. Радиохимическая подготовка проб к альфа-спектрометрическому анализу на содержание Pu^{238} , Pu^{239} и Pu^{240} проводится поэтапно. Высушенная проба растительного материала измельчается в фарфоровой ступке до относительной однородности частиц, затем просеивается последовательно через сита с размером ячеек 1 и 0,1 мм. Просеянная проба взвешивается.

Разложение проб проводилось на микроволновой установке пробоподготовки МС-6. Навеска пробы составляет 0,5 г реакционная смесь: 2 мл H_2O_2 конц. + 8 мл HNO_3 70%. Разложение происходит в течение часа при мощности 800-1000 Вт.

Радиохимическая подготовка проб проводилась в соответствии с установленными инструкциями НСАМ № 406-ЯФ, НСАМ № 407-ЯФ с электролитическим осаждением изотопов плутония прибором Gwinstek GPC-3060 D на стальную подложку с заранее измеренным фоном. Данные методики утверждены Федеральным научным центром лабораторных исследований и сертификации минерального сырья ВИМС от 31.03.1999г., центром метрологии ионизирующих излучений ГНМЦ ВНИИФТРИ Госстандарта РФ от 19.08.1999г. Схема радиохимической подготовки представлена на рисунке 3.3.

После электроосаждения, высушенная подложка помещается для анализа в ионизационную импульсную камеру альфа-спектрометра фирмы ORTEC. Обработка результатов производится в программе AlphaVision 5.3.

Для обеспечения внутреннего контроля измерение одной пробы проводилось 3 раза в разных камерах альфа-спектрометра. Внешний контроль качества измерений проведен лабораторией изотопных методов анализа ВИМС (г. Москва). Результаты показали удовлетворительную сходимость. Данные по сходимости приведены на рисунке 3.4.

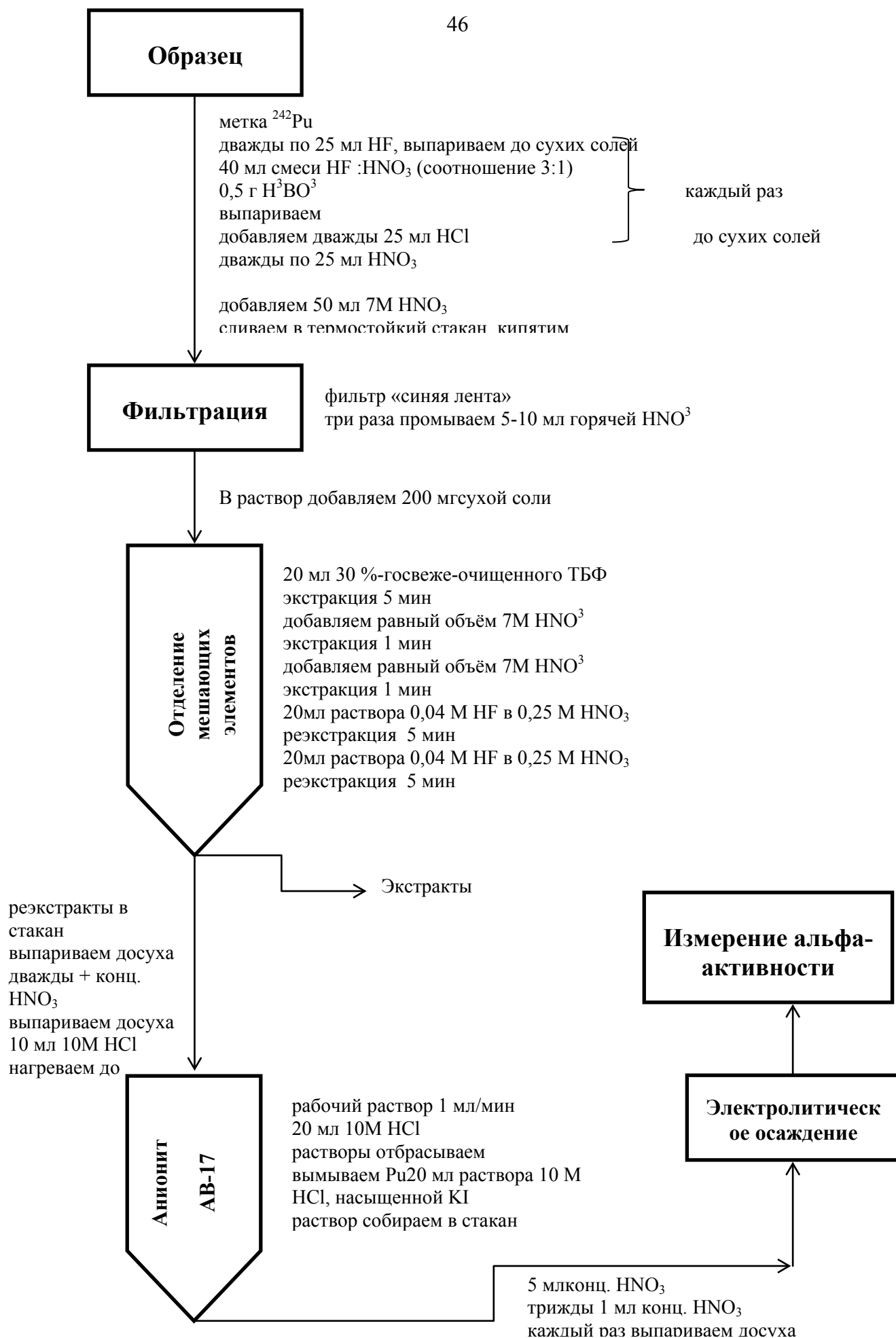


Рисунок 3.3 – Схема радиохимической подготовки проб растительного материала для альфа-спектрометрического анализа

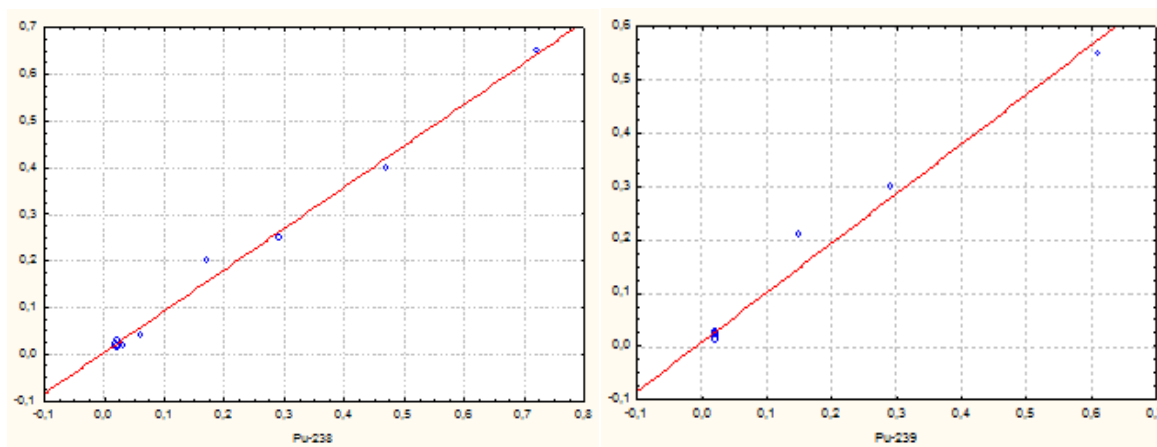


Рисунок 3.4 – Сходимость результатов измерений удельной активности изотопов плутония лаборатории изотопной спектрометрии кафедры ГЭГХ ИПР ТПУ (г. Томск) и лаборатории изотопных методов анализа ВИМС (г. Москва)

3.3 Методика обработки результатов

Для обработки выборки и расчета статистических параметров использовался пакет программ Statistica 6.0. Были рассчитаны статистические параметры распределения элементов: среднее содержание, стандартная ошибка, медиана, мода, максимальное и минимальное содержание, стандартное отклонение, дисперсия выборки, коэффициент вариации при уровне надежности 95%.

Проверка нормального закона распределения элементов в выборке проводилась тестами Колмогорова-Смирнова и Пирсона. Для элементов с нормальным законом распределения в качестве среднего значения по выборке принималось среднее арифметическое значение, а для элементов, распределенных по отличному закону от нормального, за среднее принималось значение медианы. Для наглядности построены гистограммы распределения по каждому из элементов с обозначением ожидаемого нормального распределения (Приложение А).

Для сравнения значимости различий между двумя выборками (по регионам юга Сибири или между видами растений) применялись либо критерий Стьюдента (при соответствии распределения нормальному закону для обеих выборок), либо U-критерий Манна-Уитни (при несоответствии распределения нормальному закону хотя бы для одной из выборок). Значимость различий принималась высокой при p -уровне $< 0,001$; при p от 0,001 до 0,01 различия считались сильно значимыми; при значимости p от 0,05 до 0,01 – значимые; при p от 0,05 до 0,1 – слабо значимые; при p менее 0,1 – не значимые (Михальчук, 2006).

Для выявления аномалий и нормирования полученных результатов, в качестве стандарта мы используем данные В. Markert по «обобщенному стандартному растению» (Markert, 1991). Как и другие искусственные стандарты (например, стандарты почвы, осадков) стандартного растения в природе не существует. В. Markert на основе своих собственных исследований, работ

Bowen (1979) и Kabata-Pendias и Pendias (1984), вывел состав «обобщенного стандартного растения», для возможности сопоставления аналитических данных. Таким образом, возможно сравнение количественных характеристик всех химических элементов в каждом виде лекарственных растений.

Для выявления геохимических аномалий был рассчитан коэффициент концентрации (K_k), который рассчитывался как отношение содержания элемента в растении (C) к содержанию элемента в «обобщенном стандартном растении» по В. Markert либо к среднему содержанию элемента в трех видах растений юга Сибири (C_m):

$$K_k = C/C_m,$$

где C – содержание элемента в исследуемом виде растения, C_m – его содержание в «обобщенном стандартном растении» по В. Markert (Markert, 1991) или среднее содержание элемента в трех видах растений юга Сибири.

Значение $K_k > 1$ указывает на накопление данного элемента в сравнении с фоновым значением, значимо накапливающимися считались элементы с коэффициентом более 2. Далее составлялся геохимический ряд, который представляет собой ранг элементов в порядке убывания K_k , с указанием коэффициента в виде нижнего индекса.

Для характеристики корреляции между содержаниями 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, 2006).

По значениям коэффициентов корреляции были построены дендрограммы корреляционной матрицы.

Для анализа содержания некоторых элементов в образцах были определены в концентрациях ниже предела обнаружения анализа. Такие значения заменялись на половину предела обнаружения, чтобы избежать искусственного завышения среднего содержания элемента в выборке.

Для выявления геоэкологических аномалий определялись коэффициенты биологического поглощения, относительно почв по каждому элементу. Коэффициент биологического поглощения рассчитан по формуле:

$$КБП = C/C_p$$

где C – содержание элемента в исследуемом виде растения, C_p – его содержание в почве.

Для определения динамики развития техногенеза и наглядности представления результатов, пробы по каждому виду растений были объединены в условные временные промежутки, которые соответствуют определенному этапу развития биосферы. В данных

интервалах было определено среднее арифметическое значение содержания каждого элемента в конкретном временном интервале и данные значения применялись исключительно для определения тенденции к увеличению или снижению содержания элемента во времени.

Таким образом, фактический материал, который является надежным биоиндикатором, отобран, подготовлен и проанализирован по имеющимся нормативным документам и методикам, зарекомендовавшим себя на протяжении длительного времени проведения биогеохимических исследований на разных территориях. Современные высокочувствительные методы анализа материала позволяют считать полученные результаты достоверными с высокой степенью точности.

3.4. Геоэкологическая характеристика района исследований

Схема размещения гербарного растительного материала и современных сборов трех видов растений (черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) представлена на рисунке 3.5.

В административном отношении район исследований включает в себя Алтайский край и Республику Алтай, Томскую область, юг Красноярского края, Новосибирскую область, центральную часть Республики Хакасия.

Район исследования (юг Сибири) характеризуется разнообразием геоэкологических условий это связано с особенностями геологического и тектонического строения, разнообразием полезных ископаемых, почв, ландшафтов.

Геологическое строение территории крайне неоднородно. Алтае-Саянская складчатая область, дислоцированная многочисленными тектоническими разломами и интрузиями отхватывает Республику Алтай, Хакасию. На западе к Хакасии примыкает Кузнецкий Алатау, сложенный известняками, кварцитами, кремнистыми и глинистыми сланцами протерозоя и нижнего протерозоя. Большая часть Томской и Новосибирской областей расположены в районе Западно-Сибирской плиты, покрытой многокилометровым осадочным чехлом разновозрастных осадочных пород – от докембрийских до четвертичных. Юго-восточная часть Новосибирской области и южная часть Томской расположены в пределах Колывань-Томской складчатой зоны и Салаира (рисунок 3.6) (Геология..., 1967).

Особенности геологического и тектонического строения исследуемой территории обусловили разнообразие полезных ископаемых.

Так, Томская область является крупным нефтегазодобывающим районом, также здесь сосредоточено свыше 57% ресурсов железа (от баланса по Российской Федерации), 18% циркония, 9% титана, 6% алюминия, 5% бурого угля, 4% цинка. Кроме того, юго-восток

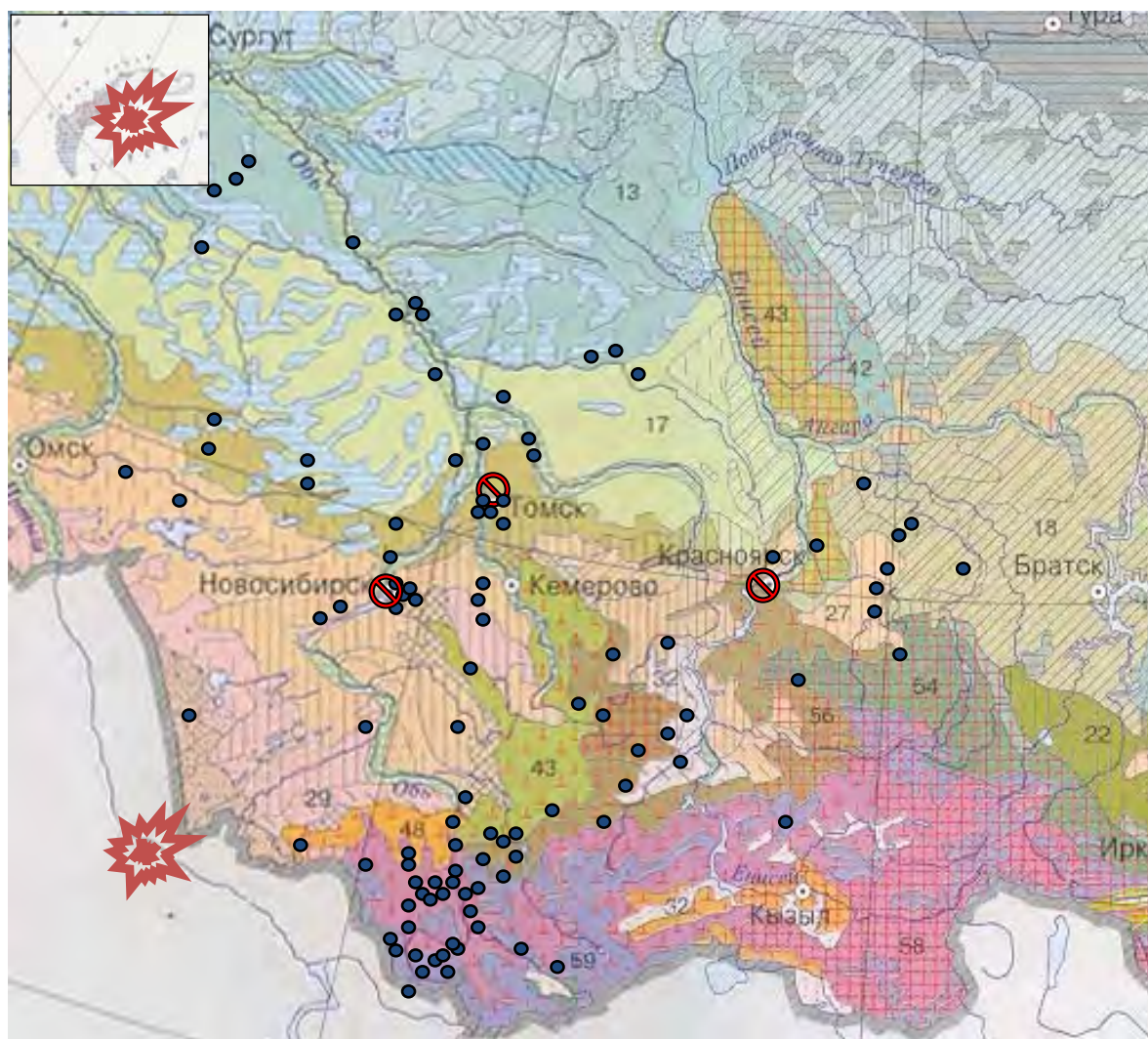


Рисунок 3.5 - Схема размещения точек отбора гербарного материала и современных сборов растений (ландшафтная основа по А.Г. Исаченко (1985 г)).

РАВНИННЫЕ ЛАНДШАФТЫ: Бореальные: 13 – среднетаежные западносибирские; 17 – южнотаежные западносибирские; 18 – южнотаежные восточносибирские; 22 – подтаежные среднесибирские. Суббореальные: 27 – лесостепные западносибирские; 29 – степные типичные западносибирские; 32 – сухостепные восточносибирские.

НИЗКОГОРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ: Бореальные: 42 – пояс лиственничной тайги; 43 – пояс черневой тайги. Суббореальные и предсубтропические: 48 – пояс низко-горных степей.

СРЕДНЕГОРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ: Бореальные: 54 – пояс темнохвойной тайги и редколесий. Суббореальные: 56 – пояс темнохвойных лесов; 58 – пояс горных степей.

ВЫСОКОГОРНЫЕ ЛАНДШАФТЫ: 59 – гольцовый пояс.

 - болота;  - точка размещения гербарного растительного материала и современных сборов растений;  - полигоны испытания ядерного оружия;  предприятия ядерно-топливного цикла.

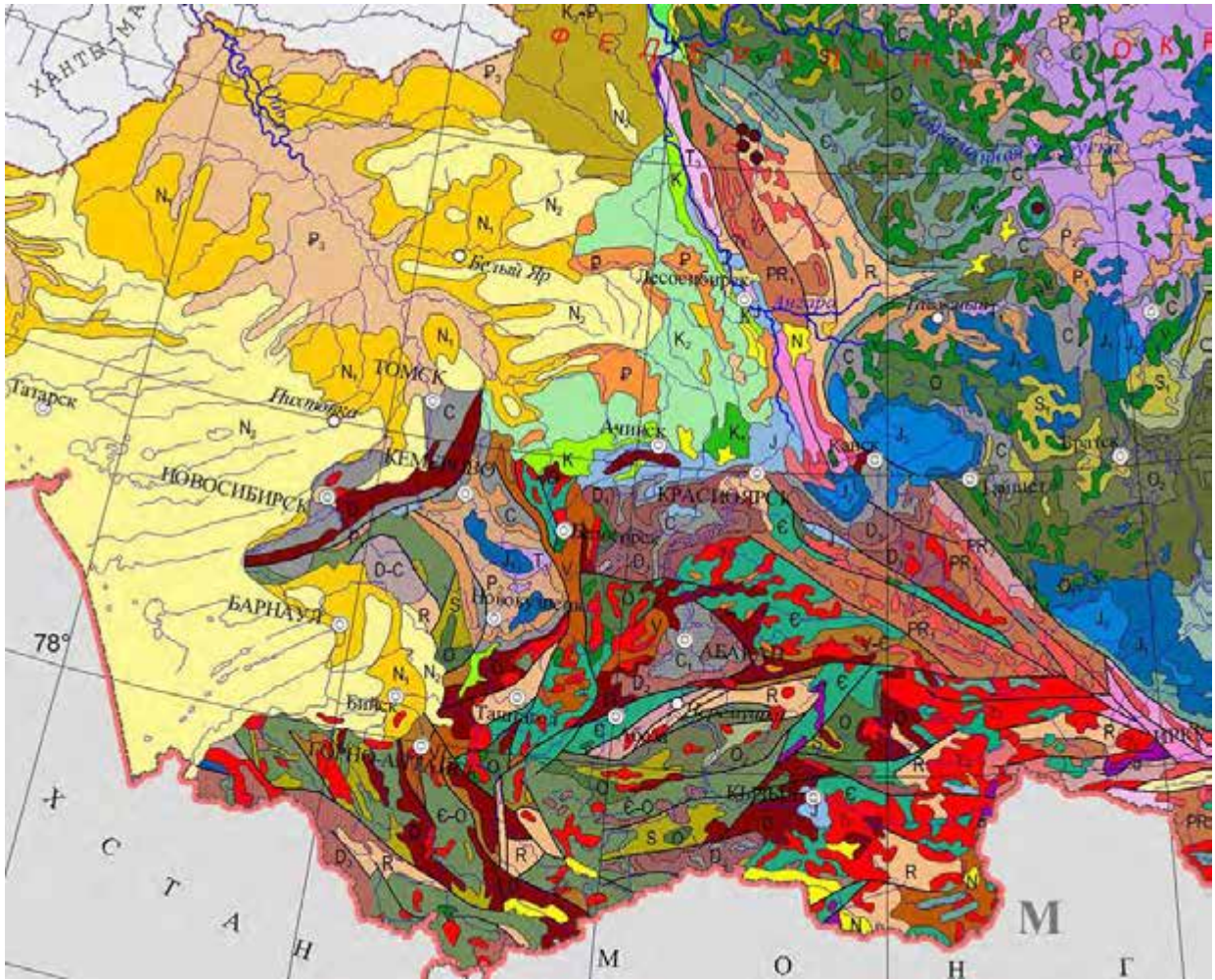


Рисунок 3.6 – Геологическое строение юга Сибири (Геологическая..., 1995)

области перспективны на золото, сурьму и полиметаллы (Черняев, 2001), а также радиоактивные руды (левые притоки рек Томь, Кия и др.) (Анцырев, 1996; Домаренко, 2008). Установлено более 100 проявлений и месторождений бурого угля (Арбузов, 2005).

Основное богатство недр Алтая составляют полиметаллические месторождения. Они локализуются в области распространения девонских вулканических толщ, тесно с ними генетически связаны, формируя семейство свинцово-цинково-медно-баритовых колчеданных месторождений вулканогенного происхождения. Разведаны уголь, железо, молибден, вольфрам, золото, серебро, редкие металлы, строительные и технологические материалы (Геология..., 1967).

На территории Красноярского края сосредоточены запасы угля, золота, свинцово-цинковых руд, нефти и газа, железной руды, бокситов, платины, медно-никелевых руд (Геология..., 1967).

Таким образом, из-за разнообразия и особенностей геологического и тектонического строения, полезных ископаемых, почв, ландшафтов формируются весьма специфические геоэкологические и геохимические условия территории юга Сибири.

4 Элементный состав растений как индикатор геоэкологической обстановки на территории юга Сибири

Особенности элементного состава травянистого и кустарничковых растений юга Сибири определяются многообразием геохимических и климатических условий, спецификой литологического состава подстилающих пород, техногенными факторами, а также видовыми особенностями растений (Кабата-Пендиас, 1989; Ильин, 2012; Алексеенко, 2015; Барановская, 2003 и др.).

Нами изучены особенности содержания химических элементов и выявлены индикаторы техногенеза, установлена региональная специфика элементного состава растений некоторых регионов территории юга Сибири.

4.1 Видовые особенности концентрирования химических элементов в растениях юга Сибири

Учет видовой специфики концентрирования химических элементов в растениях весьма важен для интерпретации динамики изменения и выявления индикаторных элементов для конкретных ландшафтно – геохимических условий (Глазовская 1976, 1988; Перельман, 1975; и др.). Известным является факт наличия индивидуальной реакции живого организма на воздействие окружающей среды (рисунок 4.1).

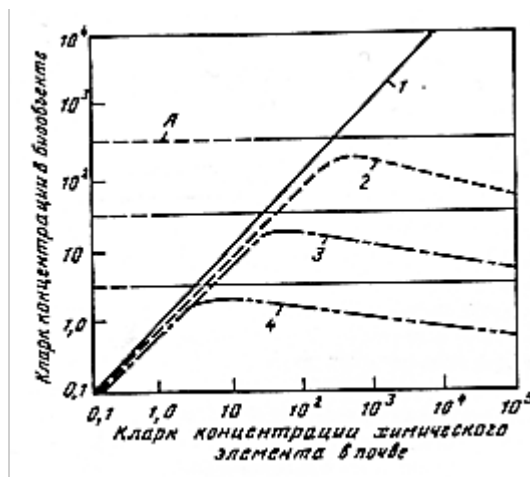


Рисунок 4.1 - Типы накопления химических элементов в системе питающая среда – биообъект (по Ковалевскому, 1999)

1 – безбарьерная группа неограниченной аккумуляции; барьерные группы: 2 – практически безбарьерная, 3 – декафонобарьерная, слабоконцентрирующая, 4 – фонобарьерная, пассивная к высоким концентрациям в питающей среде, неконцентрирующая; А – приближенные границы между концентрационными кривыми различных типов.

Соответственно, будут различными типы накопления химических элементов в системе среда – биообъект. На основании реакций растительных организмов на воздействие факторов среды, выделяют различные виды индикаторов и типов индикации: специфические, универсальные, неспецифические, аккумулятивные (Ткалич, 1959, 1960, 1969; Ковальский, 1974, 2009; Ковалевский, 1999 и др.).

Нами установлено, что между тремя изученными видами растений, произрастающих на территории юга Сибири, существуют видовые отличия. Так, изучение специфики накопления химических элементов в чернике и лабазнике, отобранных в один и тот же год и в одном и том же месте, позволило установить значимо более высокое концентрирование растениями таких элементов, как натрий, кальций, железо, неодим (рисунок 4.2; 4.3).



Рисунок 4.2 - Химические элементы в составе лабазника вязолистного и черники обыкновенной из долины реки Ларь – Еган, 1946 год отбора (мг/кг сухого вещества, шкала логарифмическая)



Рисунок 4.3 -Химические элементы в составе лабазника вязолистного и черники обыкновенной из долины реки Чулым (окрестности с. Тургай), 1948 года отбора (мг/кг сухого вещества, шкала логарифмическая).

Анализ рисунков показал, что видовые отличия сохраняются вне зависимости от места и года отбора растительного материала.

Следует также отметить, что данные, полученные при сравнении накопления химических элементов в разных видах в одинаковый период времени на разных территориях, указывают на некоторые различия в концентрировании химических элементов лабазником в долине реки Чулым с более высокой интенсивностью поглощающего уран, лютеций, золото и некоторые другие элементы по сравнению с лабазником, отобранном в долине реки Ларь – Еган. Подобное отличие может объясняться ландшафтно-геохимическими особенностями места его произрастания.

Зависимость накопления элементов от вида и территории демонстрирует сравнение черники обыкновенной с брусникой. Так, растения, отобранные в 2008 году в районе п. Самусь Томской области, характеризуются различным накоплением таких элементов как бром, мышьяк, золото, цезий, наибольшее содержание которых характерно для черники (рисунок 4.4). В то же время, наблюдается сглаживание различий с течением времени и нарастанием концентрации широкого спектра химических элементов в бруснике к 2011 году (рисунок 4.5). Следует отметить, что данный вид характеризуется постепенным накоплением элементов в связи с тем, что растение является многолетним, в отличие от однолетнего лабазника и двулетней черники. Кроме того, варьирование элементного состава растений, произрастающих в районе населенного пункта Самусь может объясняться существованием мощного техногенного источника с подветренной стороны – Северного промышленного узла г. Томска. В районе населенного пункта Тимирязево, находящегося в противоположном от н.п. Самусь направлении в 2011 году наблюдается концентрирование совершенно иного спектра элементов (рисунок 4.6).

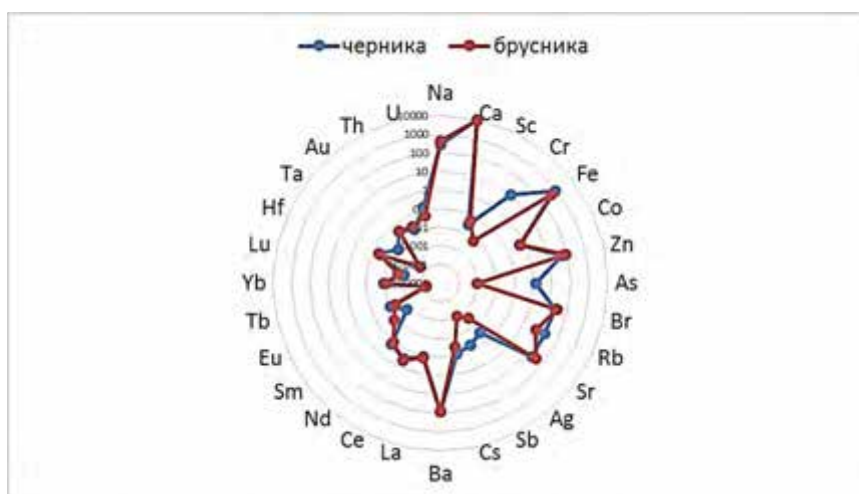


Рисунок 4.4 - Химические элементы в составе брусники и черники обыкновенной из окрестностей п.Самусь, Томской области, 2008 год отбора (мг/кг сухого вещества, шкала логарифмическая).

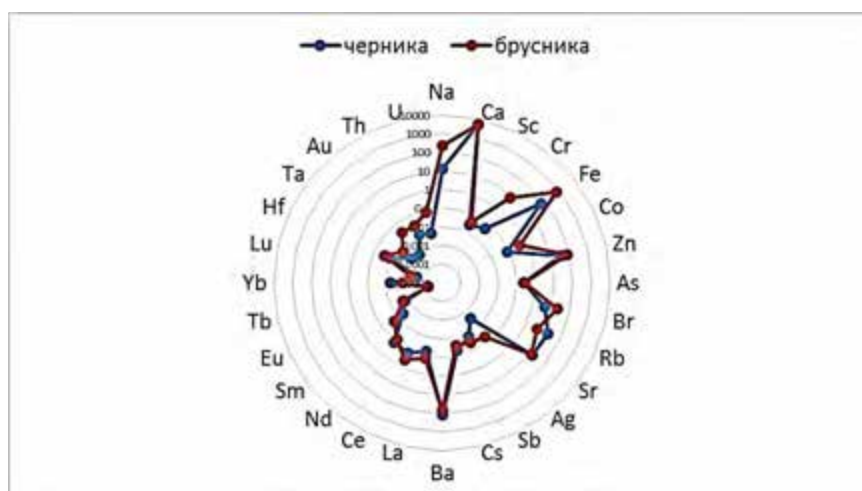


Рисунок 4.5- Химические элементы в составе брусники и черники обыкновенной из окрестностей п.Самусь, Томской области, 2011 год отбора (мг/кг сухого вещества, шкала логарифмическая).

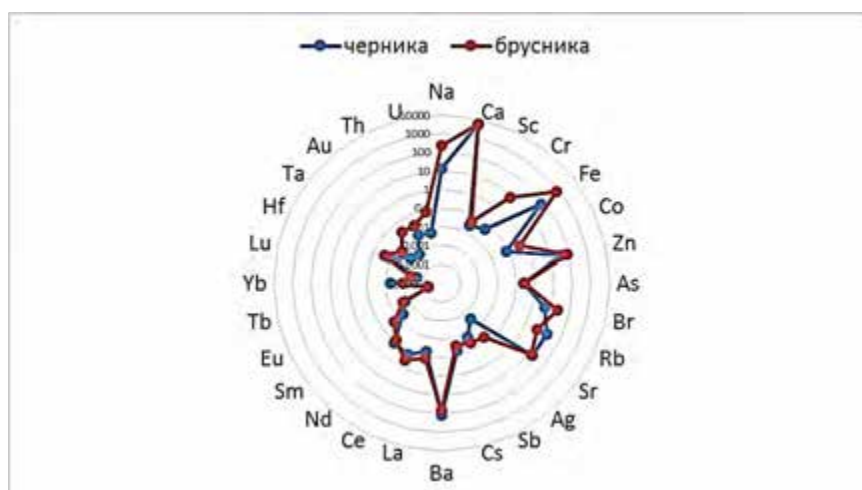


Рисунок 4.6 - Химические элементы в составе брусники и черники обыкновенной из окрестностей п. Тимирязево, Томской области, 2011 год отбора (мг/кг сухого вещества, шкала логарифмическая).

Таким образом, можно вполне определенно сказать о существенном и доминирующем влиянии места и времени отбора растений на формирование его элементного состава по сравнению с видовой спецификой.

В целом, средние содержания химических элементов в каждом из изученных видов приведены в таблице 4.1. Сводные данные по содержанию химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири, Томской области и Республики Алтай показывают, что элементный состав растений в целом одинаков, но количественные

характеристики состава значительно различаются как в зависимости от территориального фактора, так и от видового. Относительно данных В. Markert (1991) по сухому веществу надземной части растений, изученные виды юга Сибири в большей степени концентрируют в своем составе Na, Sc, Cr, Fe, Co, As, Br, Ba, Na, Eu, Tb, Ta, Au, Th, U (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Среднее содержание элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) и в «обобщенном стандартном растении» по Markert (1991), мг/кг сухого вещества

Элемент	Среднее содержание (Томская область, Алтай) Среднее содержание± стандартная ошибка (юг Сибири)								B. Markert, 1991
	Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i>)			Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)		Лабазник вязолистный (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim)			
	Томская область (N=35)	Алтай (N=13)	Юг Сибири (N=49)	Томская область (N=25)	Юг Сибири (N=28)	Томская область (N=58)	Алтай (N=27)	Юг Сибири (N=121)	
Na	93	369	162±27	118	109±22	175	367	294±21	150
Ca	5579	5776	5599±380	4222	4098±305	5258	8343	6944±345	10000
Sc	0,03	0,03	0,03±0,005	0,04	0,03±0,007	0,06	0,11	0,09±0,007	0,02
Cr	3,1	7,6	4,2±1,1	2,2	2,0±0,73	2,1	17	9±1,1	1,5
Fe	255	611	292±71	336	315±45	342	1497	881±76	150
Co	0,4	0,4	0,4±0,04	0,2	0,2±0,03	0,3	1,0	0,65±0,06	0,2
Zn	25	59	34±6	37	35±4,6	53	53	65±4	50
As	0,2	0,3	0,18±0,04	0,15	0,14±0,02	0,3	0,3	0,3±0,02	0,1
Br	7,3	13,1	8,8±1,1	8,6	8,0±1,5	13	20	18±2	4
Rb	14	12	13,3±1,3	6	5,4±0,8	8,6	4,1	9±0,8	50
Sr	13	16	9,5±1,7	13	14±1,8	25	32	31±2,3	50
Ag	0,09	0,06	0,05±0,02	0,08	0,07±0,02	0,05	0,06	0,06±0,003	0,2
Sb	0,08	0,07	0,08±0,01	0,07	0,07±0,02	0,04	0,12	0,07±0,006	0,1
Cs	0,05	0,05	0,05±0,007	0,04	0,03±0,006	0,04	0,03	0,04±0,004	0,2
Ba	65	69	66±4,5	55	53±6	44	38	43±3	40
La	0,09	0,1	0,09±0,01	0,17	0,15±0,04	0,3	0,3	0,3±0,02	0,2
Ce	0,4	0,3	0,4±0,06	0,4	0,3±0,08	0,5	0,5	0,6±0,05	0,5
Nd	0,7	0,9	0,7±0,1	0,7	0,7±0,2	0,7	0,8	0,8±0,06	0,2
Sm	0,01	0,02	0,01±0,002	0,02	0,02±0,005	0,04	0,05	0,05±0,004	0,04
Eu	0,009	0,007	0,009±0,002	0,005	0,004±0,001	0,008	0,005	0,008±0,0008	0,008
Tb	0,01	0,01	0,009±0,002	0,006	0,006±0,001	0,008	0,009	0,013±0,004	0,008
Yb	0,01	0,008	0,009±0,002	0,01	0,01±0,003	0,02	0,02	0,022±0,003	0,02
Lu	0,002	0,003	0,002±0,0003	0,002	0,002±0,0004	0,003	0,003	0,003±0,0003	0,003
Hf	0,02	0,03	0,02±0,004	0,03	0,03±0,005	0,03	0,07	0,05±0,004	0,05
Ta	0,009	0,006	0,006±0,002	0,006	0,006±0,0009	0,006	0,006	0,007±0,0005	0,001
Au	0,03	0,02	0,03±0,006	0,02	0,02±0,005	0,010	0,040	0,03±0,004	0,001
Th	0,08	0,05	0,07±0,02	0,03	0,03±0,007	0,050	0,090	0,07±0,007	0,005
U	0,05	0,13	0,07±0,01	0,04	0,04±0,009	0,06	0,18	0,13±0,01	0,01
Be*	0,0084			0,058					
B*	17,6			9,4					
Mg*	1583			984					
Al*	329			218					
P*	1517			751					

Элемент	Среднее содержание (Томская область, Алтай) Среднее содержание± стандартная ошибка (юг Сибири)								В. Markert, 1991
	Черника обыкновенная (Vaccinium myrtillus)			Брусника (Vaccinium vitis-idaea)		Лабазник вязолистный (Filipendula Ulmaria (L) Maxim)			
	Томская область (N=35)	Алтай (N=13)	Юг Сибири (N=49)	Томская область (N=25)	Юг Сибири (N=28)	Томская область (N=58)	Алтай (N=27)	Юг Сибири (N=121)	
K*	5755			2585					
Ti*	12,5			9,7					
V*	0,27			0,20					
Mn*	3213			1450					
Ni*	0,72			0,78					
Cu*	8,25			3,9					
Ga*	0,23			0,12					
Ge*	0,04			0,02					
Y*	0,06			0,05					
Zr*	0,31			0,29					
Nb*	0,02			0,06					
Mo*	0,34			0,22					
Cd*	0,12			0,08					
Pr*	0,023			0,020					
Gd*	0,025			0,016					
Dy*	0,014			0,012					
Ho*	0,002			0,002					
Er*	0,006			0,005					
Tm*	0,0008			0,0008					
W*	0,069			0,055					
Tl*	0,009			0,008					
Pb*	1,38			0,62					
Bi*	0,05			0,04					

Примечание: X* -среднее содержание элемента определенного с помощью ICP-MS: для черники по результатам 7 проб; для брусники по результатам 8 проб.

Из таблицы видно, что содержание некоторых элементов в разных видах растений значительно отличаются, причем различие в содержаниях достигает одного порядка. Таким образом, видовая специфика содержания элементов выражается в концентрировании Br, U и Tb лабазником, Rb – черникой, при пониженном содержании в ней La, Yb, Sr (рисунок 4.7).

Несмотря на наличие видовой специфики для всех растений характерны некоторые общие тенденции. При анализе корреляционных зависимостей каждого вида растения были установлены значимые положительные взаимосвязи между элементами, которые характерны для всех изученных видов растений (таблица 4.2) и которые, на наш взгляд, отражают эколого – геохимическую специфику территории своего произрастания.

Характер зависимостей элементов в изученных видах растений представлен на рисунках 4.8; 4.9; 4.10. Вне видовой специфики наблюдаются высоко значимые положительные, иногда

практически прямые зависимости содержания одних и тех же элементов, например урана и хрома, ассоциация которых не может быть объяснена природными факторами (рисунок 4.8).

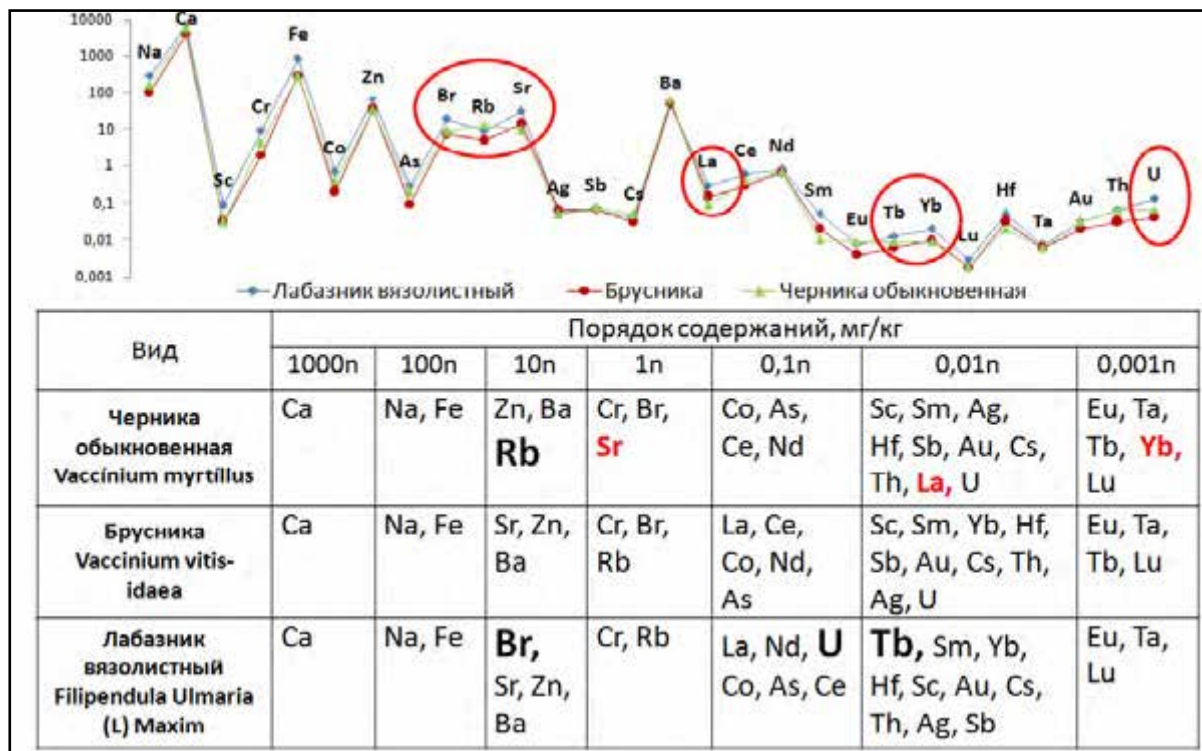


Рисунок 4.7 - Видовая специфика содержания химических элементов в трех видах изученных растений юга Сибири (выделено полужирным – высокое содержание элемента в растении; выделено красным – низкое содержание элемента в растении)

Таблица 4.2 – Значимые положительные взаимосвязи, характерные для черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири

Вид	U - Cr	Hf - Fe	Cr - Fe	Ca-Sr	Ca-Ba-Sr	Ag-Rb
Черника обыкновенная <i>Vaccinium myrtillus</i>	0,85	0,78	0,72	0,69	0,58 – 0,64	0,29
Брусника <i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0,71	0,39	0,64	0,55	0,52 – 0,05	0,76
Лабазник вязолистный <i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim	0,86	0,77	0,92	0,58	0,42 – 0,38	0,19

С учетом динамики содержания химических элементов в каждом виде растений и с определенного места сбора можно сделать вывод, что U, Cr и Fe имеют техногенный источник поступления в состав растений, т.к. имеют высокие концентрации во всех видах растений в современном периоде по сравнению с доядерным периодом (рисунок 4.11).

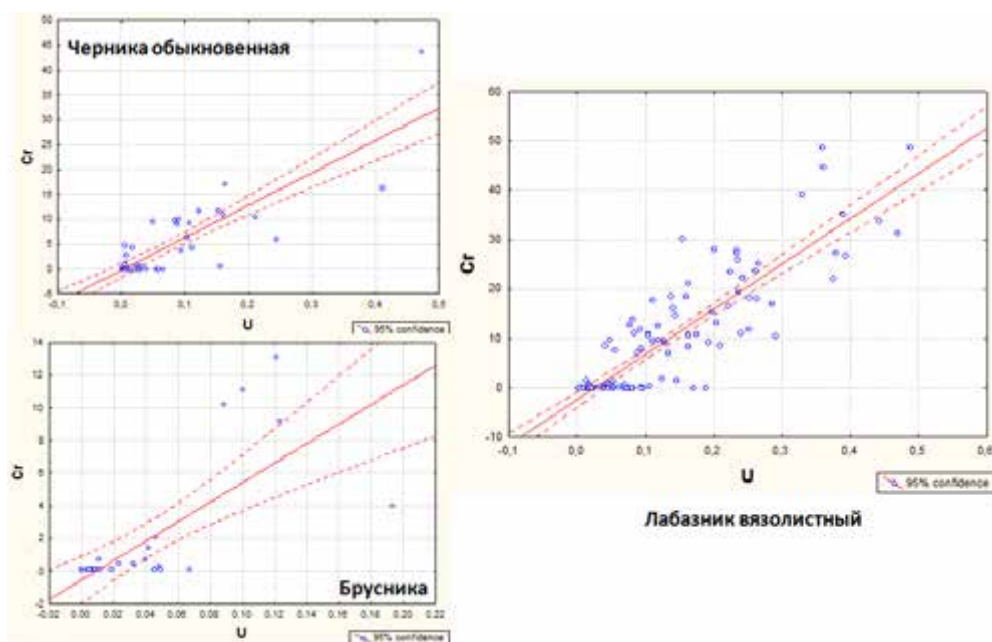


Рисунок 4.8 – Характер зависимостей значимых положительных связей U-Cr в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири

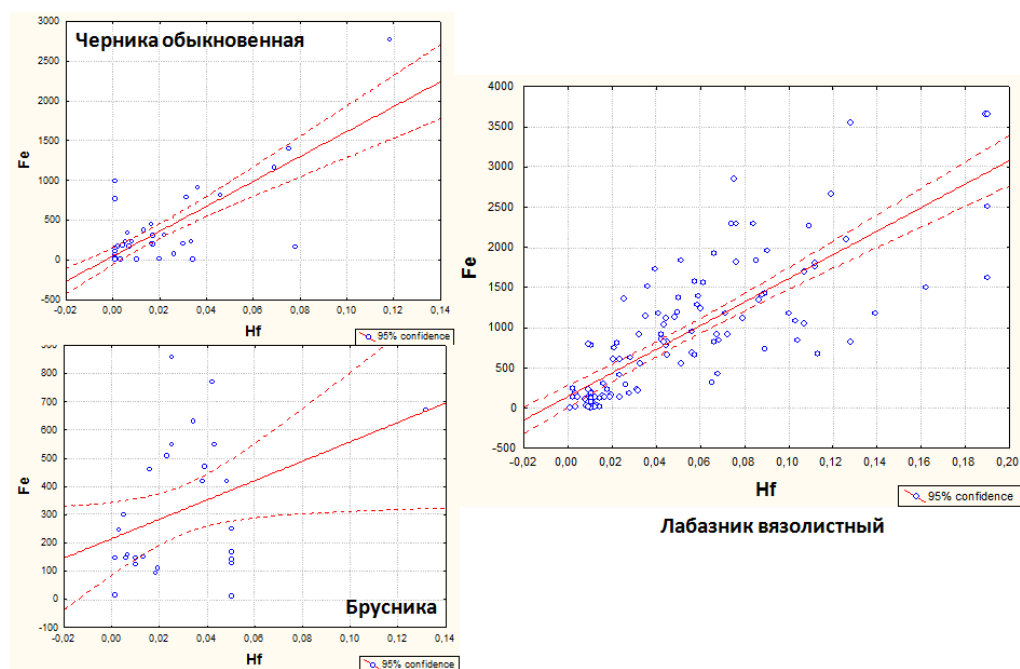


Рисунок 4.9 - Характер зависимостей значимых положительных связей Fe-Hf в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири

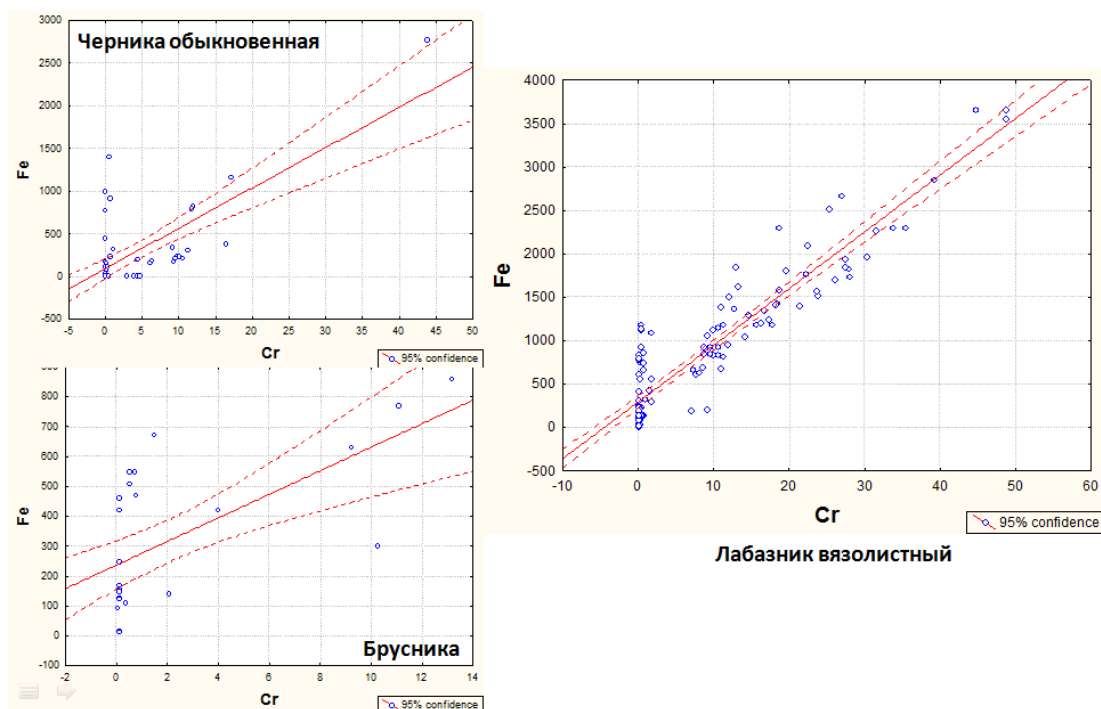


Рисунок 4.10 – Характер зависимостей значимых положительных связей Fe-Cr в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири

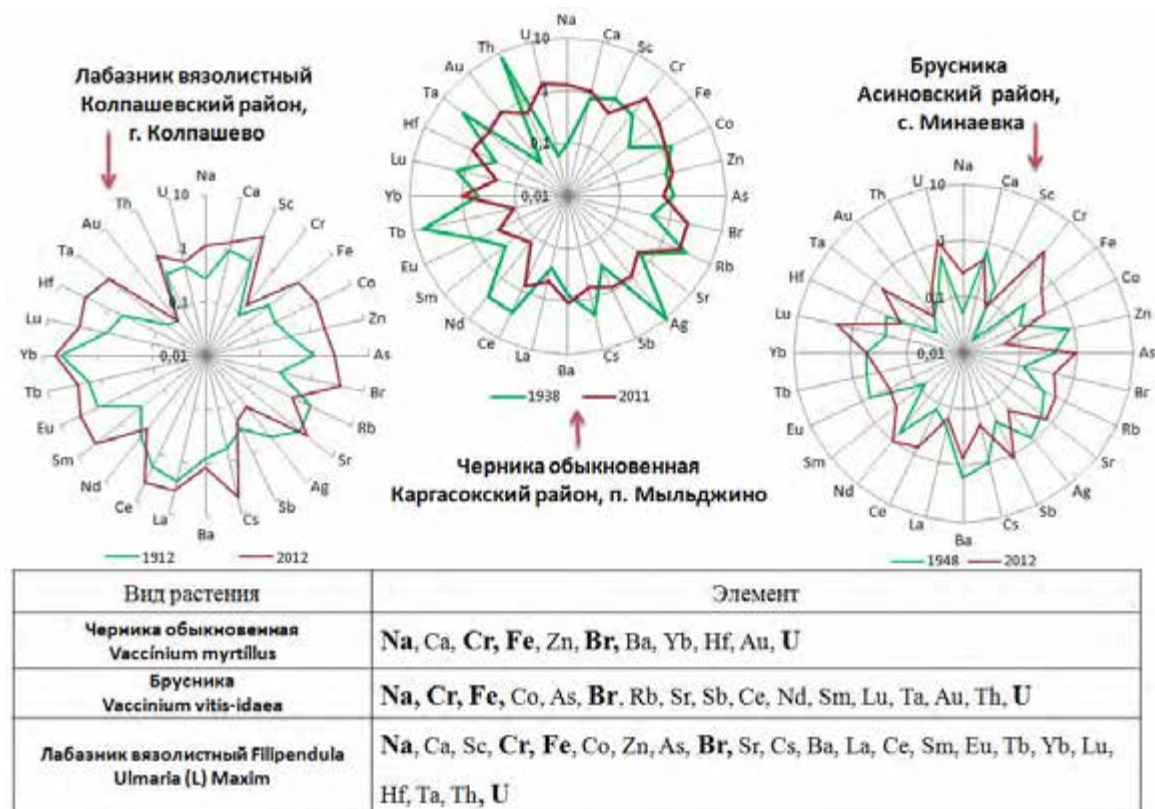


Рисунок 4.11 – Динамика изменения содержания элементов и видовые особенности их накопления растениями в окрестностях отдельных населенных пунктов Томской области

Подобные корреляции наблюдаются так же для некоторых других химических элементов, в частности железа и гафния, хрома и железа, что может характеризовать специфику воздействия предприятий топливно – энергетического комплекса (рисунок 4.9, 4.10).

В целом следует отметить, что наблюдается устойчивая тенденция к концентрированию со временем таких элементов как натрий, хром, железо, кобальт, бром и уран. Накопление металлов в составе растений подтверждает существующую идею о процессе металлизации биосферы (Вернадский, 1954; Глазовская, 1976, 1988; Глазовский, 1982 и др.).

Таким образом, выявленные видовые отличия черники обыкновенной, брусники и лабазника вязолистного, вне зависимости от места и времени сбора растений, проявляются в концентрировании рубидия черникой, при пониженном содержании в ней стронция, лантана и иттербия и концентрированием брома, урана и тербия лабазником.

Анализ корреляционных зависимостей показал, что в каждом изученном виде растений существуют общие сильные значимые положительные корреляционные взаимосвязи между элементами, которые характеризуют по нашему мнению техногенные аномалии (развитие топливно-энергетического комплекса): U-Cr, Hf-Fe, Fe-Cr. Динамика концентрирования данных элементов подтверждает техногенный источник их поступления в состав растений.

4.2 Индикаторные свойства элементного состава черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*)

Анализ результатов изучения элементного состава черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), показывает, что большинство изученных элементов распределено неравномерно. Об этом свидетельствуют такие статистические параметры как коэффициент вариации, стандартная ошибка и др. В составе черники определено 56 химических элементов (таблица 4.3).

В общем виде статистические параметры элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Статистические параметры элементного состава черники (*Vaccinium myrtillus*) территории юга Сибири (N=49, мг/кг сухого вещества)

Элемент	Среднее± стандартная ошибка	Минимум	Максимум	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэф. вариации, %
Na	162±27	10	750	63,5	50	192	118
Ca	5599±380	1100	13870	5030	4600	2659	47
Sc	0,03±0,005	0,002	0,13	0,009	0,004	0,034	126
Cr	4,2±1,1	0,07	43,77	0,2	0,1	7,5	177
Fe	292±71	30	2780	150	150	496	135
Co	0,4±0,04	0,061	1,15	0,41	0,59	0,3	71
Zn	34±6	2,5	207,71	25	2,5	42	120

Элемент	Среднее± стандартная ошибка	Мини- мум	Макси- мум	Меди- ана	Мода	Стандартное отклонение	Коэф. вариации, %
As	0,18±0,04	0,001	1,33	0,15	0,2	0,25	110
Br	8,8±1,1	1,78	34,7	5,7	2,5	8	90
Rb	13,3±1,3	0,32	39,80	11,4	26,4	9	67
Sr	9,5±1,7	5,4	58,84	10	10	8,9	64
Ag	0,05±0,02	0,01	0,59	0,05	0,05	0,12	130
Sb	0,08±0,01	0,001	0,35	0,061	0,02	0,08	93
Cs	0,05±0,007	0,002	0,25	0,04	0,004	0,05	97
Ba	66±4,5	19	152,28	62	40	31,3	47
La	0,09±0,01	0,005	0,42	0,06	0,045	0,095	98
Ce	0,4±0,06	0,009	2,07	0,27	0,05	0,4	109
Nd	0,7±0,1	0,04	3,07	0,54	0,45	0,64	84
Sm	0,01±0,002	0,001	0,07	0,01	0,01	0,016	99
Eu	0,009±0,002	0,001	0,04	0,005	0,005	0,011	119
Tb	0,009±0,002	0,001	0,06	0,005	0,005	0,013	116
Yb	0,009±0,002	0,001	0,08	0,005	0,005	0,014	127
Lu	0,002±0,0003	0,00005	0,008	0,001	0,0005	0,002	97
Hf	0,02±0,004	0,0006	0,12	0,01	0,01	0,022	116
Ta	0,006±0,002	0,0009	0,05	0,005	0,005	0,01	127
Au	0,03±0,006	0,0001	0,20	0,012	0,002	0,038	147
Th	0,07±0,02	0,001	0,47	0,02	0,01	0,11	152
U	0,07±0,01	0,00093	0,47	0,045	0,045	0,096	131
Be*	0,0084						
B*	17,6						
Mg*	1583						
Al*	329						
P*	1517						
K*	5755						
Ti*	12,5						
V*	0,27						
Mn*	3213						
Ni*	0,72						
Cu*	8,25						
Ga*	0,23						
Ge*	0,04						
Y*	0,06						
Zr*	0,31						
Nb*	0,02						
Mo*	0,34						
Cd*	0,12						
Pr*	0,023						
Gd*	0,025						
Dy*	0,014						
Ho*	0,002						
Er*	0,006						
Tm*	0,0008						
W*	0,069						
Tl*	0,009						
Pb*	1,38						
Bi*	0,05						

Примечание: X* - среднее содержание элемента определенного с помощью ICP-MS для черники по результатам 7 проб.

Отметим, что коэффициенты вариации содержания элементов у черники изменяются от 47 до 177%. Высокий разброс значений, имеющий место в пределах всей исследованной группы черники юга Сибири, может быть обусловлен различиями регионов сбора, а также временного интервала сбора.

Особенности, характеризующие закон распределения каждого элемента, наиболее вероятная частота его встречаемости и вариации аномальных значений при уровне достоверности 95% частоты встречаемости, приведены на рисунках А.1 – А.4 в Приложении А. В генерализованной выборке распределение химических элементов соответствует в основном логнормальному закону распределения.

Рассчитанные параметры каждого элемента характеризуют выборку черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) в целом. Необходимо отметить, что для отдельных элементов наблюдаются аномальные точки, которые усложняют распределение элемента. Природа аномальных концентраций имеет как природный, так и техногенный характер.

Сводные данные по содержанию химических элементов в чернике обыкновенной на территории юга Сибири, в частности для Томской области и Алтайского региона приведены в таблице 4.4. Обращает на себя внимание факт повышенного содержания (относительно данных В. Markert, 1991) в составе черники, собранной на территории юга Сибири, таких элементов как Cr, Fe, Co, As, Br, Ba, Nd, Eu, Tb, Ta, Au, Th, U. Пониженные содержания (относительно данных Markert, 1991) отмечаются у Na, Ca, Zn, Rb, Sr, Cs, La, Ce, Sm, Yb, Lu, Hf.

Таблица 4.4 - Содержание элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) и в «обобщенном стандартном растении» по В. Markert (1991), мг/кг сухого вещества

Элемент	Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i>)			Markert, 1991	Элемент	Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i>)			Markert, 1991
	Томская область (N=35)	Алтай (N=13)	юг Сибири (N=49)			Томская область (N=35)	Алтай (N=13)	юг Сибири (N=49)	
Na	93	369	162	150	Ba	65	69	66	40
Ca	5579	5776	5599	10000	La	0,09	0,1	0,09	0,2
Sc	0,03	0,03	0,03	0,02	Ce	0,4	0,3	0,4	0,5
Cr	3,1	7,6	4,2	1,5	Nd	0,7	0,9	0,7	0,2
Fe	255	611	292	150	Sm	0,01	0,02	0,01	0,04
Co	0,4	0,4	0,4	0,2	Eu	0,009	0,007	0,009	0,008
Zn	25	59	34	50	Tb	0,01	0,01	0,009	0,008
As	0,2	0,3	0,2	0,1	Yb	0,01	0,008	0,009	0,02
Br	7,3	13,1	8,8	4	Lu	0,002	0,003	0,002	0,003
Rb	14	12	13,3	50	Hf	0,02	0,03	0,02	0,05
Sr	13	16	9,5	50	Ta	0,009	0,006	0,006	0,001
Ag	0,09	0,06	0,05	0,2	Au	0,03	0,02	0,03	0,001
Sb	0,08	0,07	0,08	0,1	Th	0,08	0,05	0,07	0,005
Cs	0,05	0,05	0,05	0,2	U	0,05	0,13	0,07	0,01

Геохимическую специализацию черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) юга Сибири, хорошо отражает диаграмма, построенная по данным химического состава изученных образцов и данных В. Markert по «обобщенному стандартному растению» (1991) (рисунок 4.12).

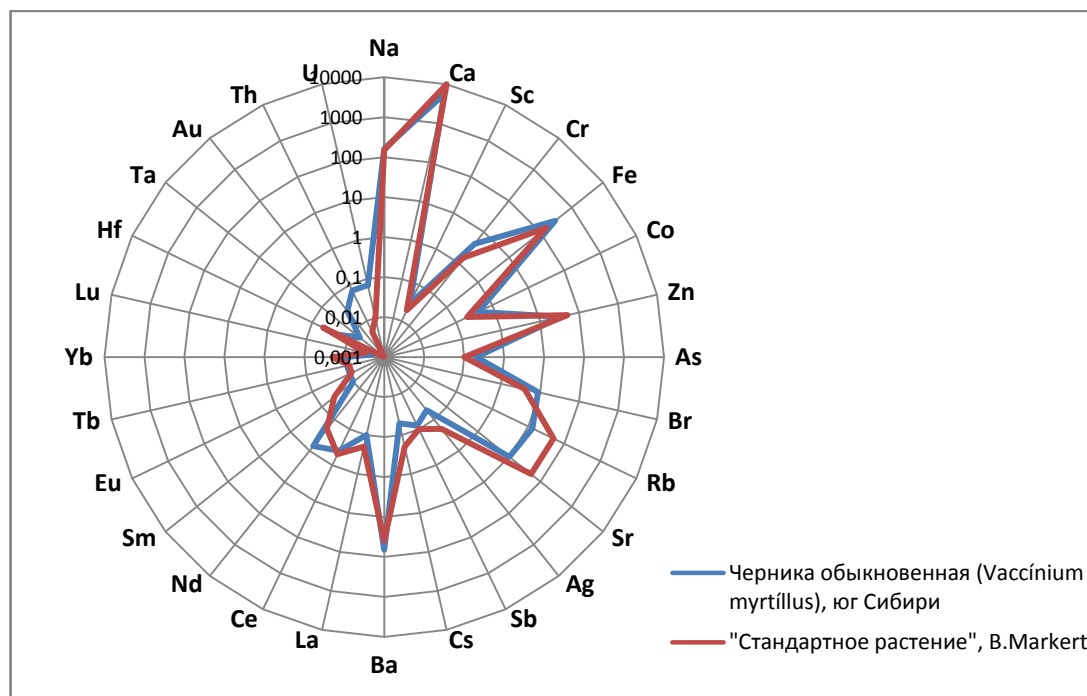


Рисунок 4.12 – Элементный состав черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) юга Сибири и «обобщенного стандартного растения» по В. Markert (1991)

Отчетливо выделяются значимо более высокие концентрации в чернике юга Сибири таких элементов, как неодим, тантал, золото, торий и уран. Несколько в меньшей степени относительно стандарта накапливается в чернике хром, железо, кобальт, мышьяк и бром.

Согласно рассчитанным коэффициентам концентрации (относительно среднего содержания элементов в сухом веществе растений по В. Markert, 1991) по различным регионам, установлено, что в Томской области черника аккумулирует в своем составе европий, а на Алтае в большей степени цинк (таблица 4.5). Повышенные концентрации цинка в сборах черники Республики Алтай приурочены в основном к горным районам: Онгудайский район верховье р. Арысем в 1935 г., Улаганский район долина Нижнего Ильдугема в 1984 г. и Усть-Коксинский район р. Сакал в 1987 г. и верховье р. Лебедь в 2000 г.

Таблица 4.5 - Коэффициенты концентрации элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*)

Место сбора	Кк (относительно В. Markert, 1991)*	Кк (относительного среднего содержания в трех видах растений юга Сибири)
Томская область	Au ₃₀ Th ₁₄ U ₇ Ta ₆ Nd _{3,5} Cr _{2,8} Br _{2,2} Co ₂ As ₂ Fe _{1,9} Ba _{1,7} Sc _{1,5} Eu_{1,13} Tb _{1,13}	Rb _{1,5} Ag _{1,4} Cs _{1,3} Ba _{1,3} Ta _{1,3} Th _{1,3} Eu_{1,2} Au _{1,2} Sb _{1,1} Ca _{0,9} Nd _{0,9} Tb _{0,9} Co _{0,8} As _{0,8}

Место сбора	Кк (относительно В. Markert, 1991)*	Кк (относительного среднего содержания в трех видах растений юга Сибири)
	Na _{1,08} Sb _{0,8} Ce _{0,8} Zn _{0,68} Lu _{0,67} Ca _{0,56} La _{0,5} Yb _{0,45} Hf _{0,4} Rb _{0,26} Ag _{0,25} Cs _{0,25} Sm _{0,25} Sr _{0,2}	Ce _{0,8} Lu _{0,7} Yb _{0,6} Sc _{0,5} Cr _{0,5} Zn _{0,5} Br _{0,5} Sr _{0,5} Hf _{0,5} U _{0,5} Na _{0,4} Fe _{0,4} La _{0,4} Sm _{0,3}
Республика Алтай	Au ₂₀ U ₁₃ Th ₁₀ Ta ₆ Cr ₅ Nd _{4,5} Fe ₄ Br _{3,3} As ₃ Na _{2,46} Co ₂ Ba _{1,7} Sc _{1,5} Tb _{1,25} Zn_{1,18} Lu ₁ Eu _{0,9} Sb _{0,7} Ce _{0,6} Hf _{0,6} Ca _{0,58} La _{0,5} Sm _{0,5} Yb _{0,4} Sr _{0,32} Ag _{0,3} Cs _{0,25} Rb _{0,24}	Na_{1,6} Rb_{1,3} Cs_{1,3} Ba _{1,3} U _{1,3} Nd _{1,2} Cr _{1,1} Zn_{1,1} As _{1,1} Lu _{1,1} Sb _{1,0} Eu _{1,0} Ca _{0,9} Fe _{0,9} Br _{0,9} Ag _{0,9} Tb _{0,9} Ta _{0,9} Co _{0,8} Hf _{0,8} Au _{0,8} Th _{0,8} Sr _{0,6} Ce _{0,6} Sm _{0,6} Sc _{0,5} La _{0,5} Yb _{0,5}

Примечание: красным полужирным выделены элементы накапливающиеся в чернике регионов; полужирным – элементы накапливающиеся в чернике регионов с учетом специфики юга Сибири; полужирным курсивом – видоспецифичные элементы.

При нормировании к среднему содержанию в трех видах растений юга Сибири, установлено, что региональной спецификой для черники Томской области является накопление Ag, Ta, Th, Eu, Au. Спецификой элементного состава черники Республики Алтай является накопление Na, U, Nd, Cr, Zn (таблица 4.5).

При сравнении показателей нормирования к среднему содержанию элементов в растениях юга Сибири с данными для стандартного растения установлено, что спецификой черники юга Сибири является накопление в растениях Rb и Cs.

Выявленные закономерности по Томской области в части некоторых элементов (Rb, Au) соотносятся с коэффициентами биологического поглощения (КБП) химических элементов, рассчитанных относительно почв данного региона (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Коэффициенты биологического поглощения химических элементов черники Томской области

Элемент	Содержание в почве, мг/кг	Содержание в растениях	
		Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	
		мг/кг	КБП
Na	8700	93	0,01
Ca	20760	5579	0,27
Sc	9	0,03	0,003
Cr	119	3,1	0,03
Fe	23002	255	0,01
Co	12	0,4	0,03
Zn	-	25	-
As	4	0,2	0,05
Br	19	7,3	0,38
Rb	77	14	0,2
Sr	194	13	0,07
Ag	2,0	0,09	0,05
Sb	1,1	0,08	0,07
Cs	3,1	0,05	0,02
Ba	501	65	0,13

Эле- мент	Содержание в почве, мг/кг	Содержание в растениях	
		Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	
		мг/кг	КБП
La	23	0,09	0,004
Ce	45	0,4	0,009
Nd	-	0,7	-
Sm	4,8	0,01	0,002
Eu	0,8	0,009	0,011
Tb	0,7	0,01	0,015
Yb	2,3	0,01	0,004
Lu	0,4	0,002	0,005
Hf	5,5	0,02	0,004
Ta	0,9	0,009	0,01
Au	0,02	0,03	1,2
Th	5,7	0,08	0,014
U	2,3	0,05	0,022

Примечание: В связи с тем, что нами при анализе гербарного материала было использовано не озолненное сухое вещество, коэффициенты биологического поглощения чрезвычайно малы.

Так, относительно среднего содержания химических элементов в почве Томской области КБП Au в чернике наиболее высок. Среднее содержание золота в сборах черники Томской области составляет 0,03 мг/кг. Повышенные содержания этого элемента относятся к достаточно локализованному району п. Тимирязево. Здесь повышенные содержания золота фиксируются в 1933, 1940, 1943, 1947, 1954, 1966гг. Также отмечены повышенные содержания в п. Самусь в 1964г. и в п. Головино в 2012г. Максимальное содержание отмечено в 1966г. в п. Тимирязево и составляет 0,203 мг/кг сухого вещества. Такое интенсивное накопление золота, возможно, объясняется золоторудной спецификой региона.

На порядок меньше, относительно среднего содержания химических элементов в почве Томской области показатели КБП для Ca, Br, Rb, Ba (таблица 4.6). Повышенными концентрациями брома выделяются район п.Суйга в 2008г., п.Самусь в 2008г. и п. Мыльджино в 2011г. Повышенные концентрации рубидия отмечаются в Каргасокском районе п. Мыльджино и в Томском районе п.Самусь в 1964г. Повышенные концентрации бария фиксируются в современных сборах черники в районе п. Тимирязево в 2011, 2012гг. и п.Головино в 2012г. Максимальная концентрация составляет 152 мг/кг и относится к району п.Тимирязево в 2011г.

Рассмотрение накопления химических элементов черникой в районах Томской области показало, что их содержание значимо варьирует. Коэффициенты концентрации, рассчитанные относительно среднего по выборке по Томской области позволил выявить геохимическую специфику 6 районов области, где производился отбор в 2012 году (рисунок 4.13).

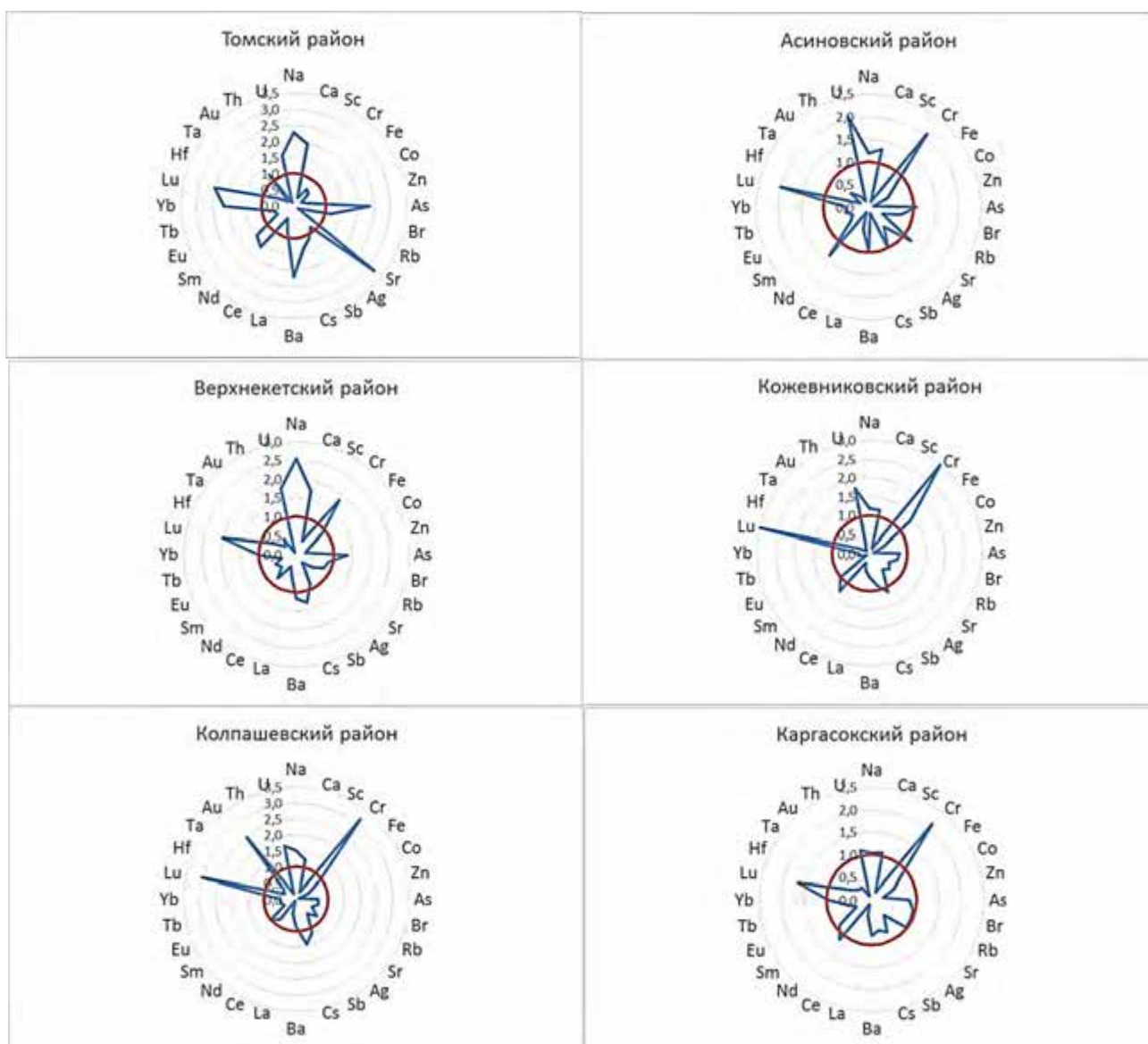


Рисунок 4.13 - Коэффициенты концентраций элементов в составе черники обыкновенной на территории районов Томской области (сухое вещество, нормирование к среднему по области)

Так, для территории Томского района характерно накопление в чернике натрия, кальция, мышьяка, стронция, отдельных редкоземельных элементов и урана. Для Асиновского района, расположенного в розе ветров от Северного промышленного узла г.Томска характерно значительное накопление хрома, лютеция и урана и несколько повышенная концентрация натрия, кальция, стронция и неодима. Подобная специфика данных районов, а особенно урановая природа, отмечена рядом авторов по разным природным средам (Рихванов, 1997, др.).

Для районов севера характерно высокое концентрирование хрома. В целом каждый из районов имеет специфичное «геохимическое лицо».

Точно такой же эффект значительных различий в геохимическом спектре можно наблюдать по коэффициентам концентраций относительно всей выборки для территорий Томской области и Алтайского региона (рисунок 4.14).

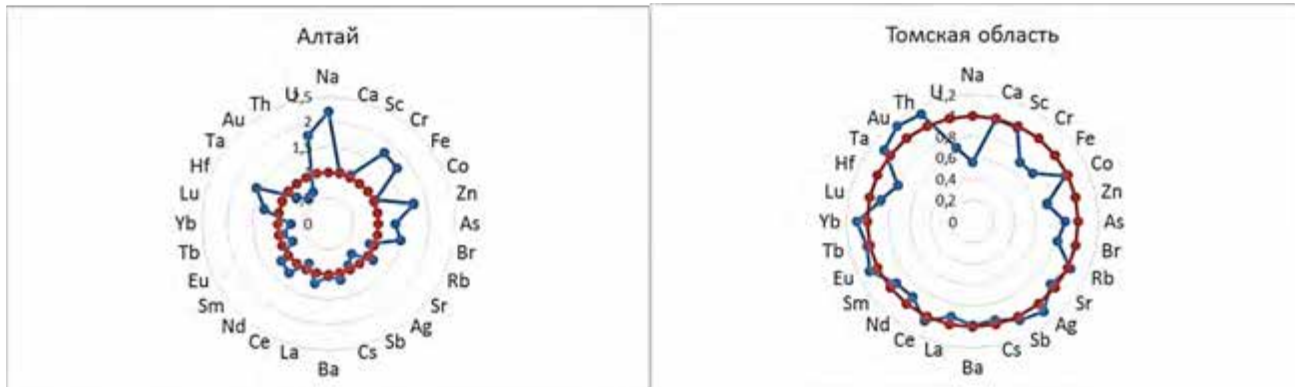


Рисунок 4.14 - Коэффициенты концентраций элементов в составе черники обыкновенной на территории Томской области и Алтайского региона (сухое вещество, нормирование к среднему по выборке).

Геохимическая специфика гранитов Алтая находит яркое отражение в характере накопления широкого спектра элементов, в то время как территория Томской области проявляется в золото – серебряной ассоциации и накоплении тория, что хорошо характеризует ее как золотоносную провинцию, на которой так же имеет место проявления циркон – ильменитовой минерализации.

Помимо непосредственного содержания элементов в качестве индикатора территориальной специфики могут выступать показатели соотношений элементов. Некоторые из них являются индикаторными для выявления как природных, так и техногенных аномалий, особенно при наличии на территории предприятий ядерно-топливного цикла. В частности, для отношения тория и урана в живых объектах характерно значение 1. По величине Th/U соотношения, которое изменяется от 1,05 до 1,67, выделяется зона распространения циркон-ильменитовых месторождений (Томский район, Томской области), что указывает на повышенные уровни накопления тория живым веществом. Северные районы Томской области (Колпашевский, Каргасокский, Верхнекетский) имеют показатели соотношений от 0,12 до 0,28, что выявляет высокое содержание урана в чернике этой территории (рисунок 4.15).

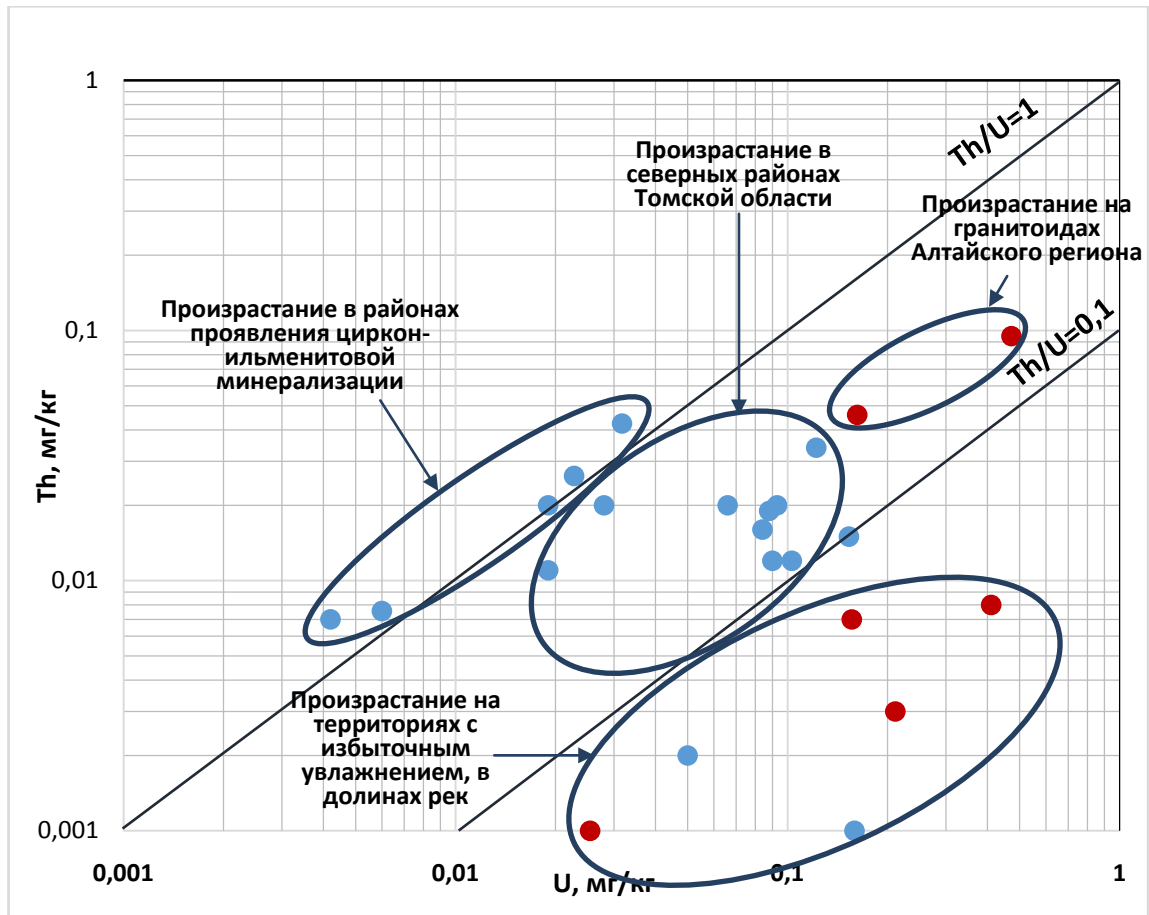


Рисунок 4.15 – Характер изменения отношения Th/U в сухом веществе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории Томской области и Алтайского региона

● - Алтайский регион; ● - Томская область.

Территория Алтайского региона, в отличие от территории Томской области, выделяется преобладанием урановой специфики, но по поступлению U и Th неоднородна. Растения произрастающие в полях развития гранитов Алтайского региона горных областей имеют показатели Th/U соотношения от 0,20 до 0,28. Там, где черника была отобрана в местах с достаточным или избыточным увлажнением (долины рек, ручьев) значения показателей Th/U отношения менее 0,1, что на наш взгляд, связано с более высокой растворимостью, миграционной способностью и как следствие высоким поглощением урана растением. Эта тенденция характерна, как для Алтайского региона, так и для территории Томской области (рисунок 4.15).

Кроме того, следует отметить, что черника является кустарничком, который зимует без листьев и тем самым в меньшей степени отражает пылеаэрозольную составляющую, в отличие от брусники, которая является вечнозеленым кустарничком и зимует вместе с листьями. Таким образом, черника в большей степени показывает природные геохимические аномалии, которые обусловлены составом подстилающих пород.

Показатель La/Ce соотношения, как правило, во всех природных средах равен 0,6 (Барановская, 2003), но природные и техногенные аномалии способны нарушить данный показатель. Так, по значениям показателей La/Ce соотношения в растениях резко выделяется время пожаров в 2012 году, когда на территории Томской области, преимущественно на ее севере, зафиксированы мощные пожары (значения этих показателей от 1 до 4,4), что выражается в крайне низком содержании как лантана, так и церия в растениях (рисунок 4.16).

Территория Алтая по значениям показателей La/Ce соотношений крайне неоднородна. Для точек соответствующих тектоническим разломам характерно высокое содержание, как лантана, так и церия в растениях черники, значение показателя здесь равно 0,4. Показатель соотношения от 0,3 до 0,5 характерен для черники высокогорья Усть-Коксинского района (песчаники, сланцы, известняки, порфириды кембрийского возраста). Для черники, произрастающей на интрузиях (граниты, диориты) значение показателя La/Ce соотношения изменяется от 1,2 до 2,1 (рисунок 4.16).

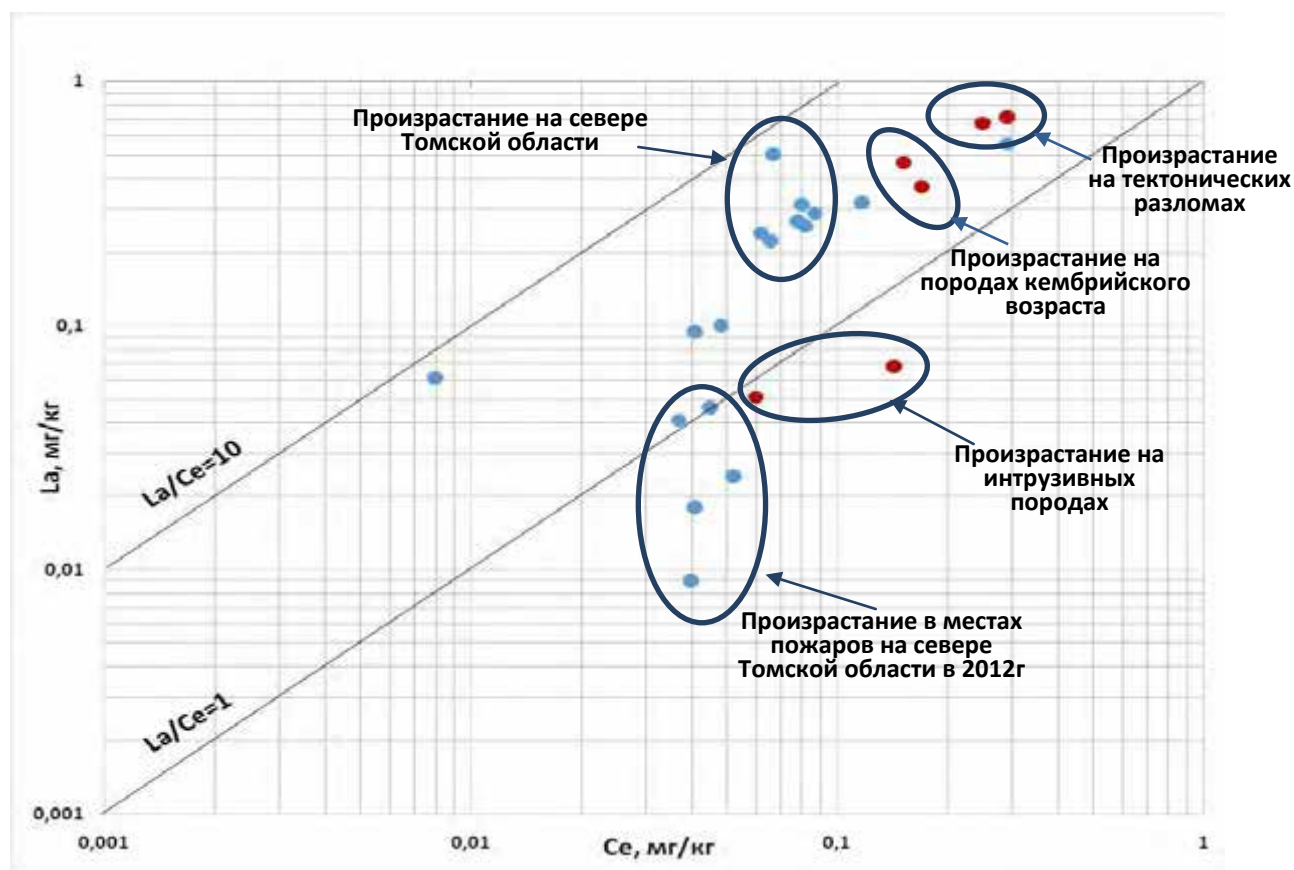


Рисунок 4.16 – Характер изменения отношения La/Ce в сухом веществе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории Томской области и Алтайского региона

● - Алтайский регион; ● - Томская область.

Как уже упоминалось выше, черника, в силу своих особенностей вида, отражает преимущественно геохимические аномалии обусловленные составом подстилающих пород.

Таким образом, по значениям показателей соотношения элементов возможна индикация различий природных обстановок (таблица 4.7).

Таблица 4.7 –Индикаторные показатели отношений элементов в чернике на территории Томской области

	Среднее по Томской области	Max	Min	Томский район	Север Томской области
Th/U	0,6	1,67	0,01	0,9	0,3
La/Ce	0,9	4,4	0,1	0,3	1,3
La/Yb	8,8	29	1	11,3	6,2
L/T	23,9	122	3	39,0	13,2

Так, по индикаторным показателям данной территории можно отметить, что для Томского района характерна цериевая специфика и накопление тория, содержание легких лантаноидов в Томском районе больше, чем на севере Томской области (таблица 4.7).

Для севера области характерна урановая специфика и накопление лантана, а также преобладание тяжелых лантаноидов (таблица 4.7). Данные специфики районов во многом согласуются с ранее проведенным нормированием (рисунок 4.13), что еще раз подтверждает высокую индикационную способность черники для выявления геохимических аномалий.

Нами проведен корреляционный анализ элементного состава черники для установления специфики концентрирования данным видом определенного спектра элементов на территории юга Сибири. Установлено существование положительных и отрицательных взаимосвязей между различными элементами и их группами (таблица Б.1, Приложение Б). При выборке в 49 проб значимой считается корреляционная связь на уровне 0,27 (95%) – 0,35 (99%).

Сильные значимые положительные корреляционные связи устанавливаются между Sm-La ($r=0,86$); U-Cr ($r=0,85$); Hf-Fe ($r=0,78$); Fe-Cr ($r=0,72$). Уран, в свою очередь, образует сильную положительную корреляционную связь с гафнием. Такая ассоциация может быть обусловлена как химическими свойствами элементов, так и характеризовать их взаимное поступление в условиях техногенеза и присутствие в минеральных формах в природных аномалиях.

Сильные значимые отрицательные корреляционные связи отмечаются в паре Sr – Co ($r = -0,43$); Lu – Rb ($r = -0,42$); Th – Ba ($r = -0,39$); Th – Sr ($r = -0,39$).

Следует отметить, что в целом между элементами устанавливается больше положительных взаимосвязей, чем отрицательных. Отмечается устойчивая отрицательная корреляционная связь тория с основными физиологически значимыми элементами Na и Ca. Следует отметить, что на территории Томской области происходит изменение содержания этих элементов в природных водах от натриево – кальциевых к кальциво – натриевым, что может

оказывать влияние на их содержание в растениях. В свою очередь, натрий и кальций устанавливают положительные взаимосвязи с ураном.

Сильные корреляционные связи устанавливаются между элементами группы лантаноидов, между ураном и гафнием, что характеризует геохимические связи в природных аномалиях, а именно циркон-ильменитовых месторождениях, которые широко развиты на территории Томской области (рисунок 4.17). Эти факты могут свидетельствовать о значительном влиянии природных геохимических обстановок на формирование элементного состава растений.

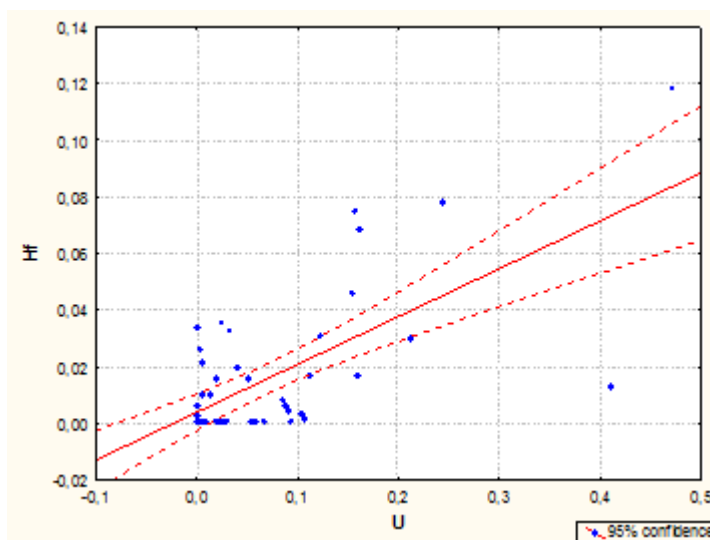


Рисунок 4.17 - Зависимость уровня содержания урана от содержания гафния в сборах черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

В тоже время, растения, фиксируя аэрозольную компоненту, могут отражать влияние техногенных факторов. Так, в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири выявлены четыре ассоциации элементов (рисунок 4.18).

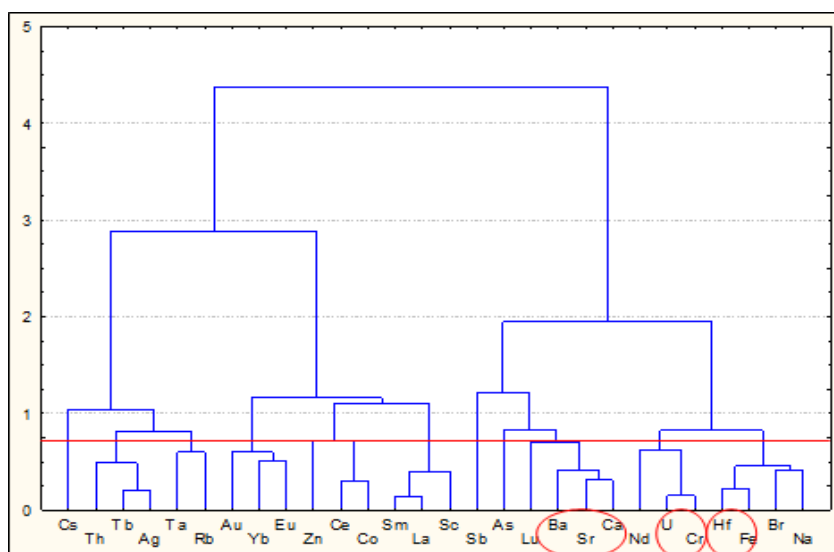


Рисунок 4.18 - Ассоциативные связи химических элементов черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири (Ward's method, $1 - \text{Pearson } r = 0,71$)

Следует отметить взаимосвязи между такими элементами, как уран и хром, гафний и железо, бром и натрий, ассоциации редкоземельных элементов с кобальтом и скандием. Подобные взаимодействия отмечались ранее в ряде других сред на данной территории (Язиков 2010; Рихванов, 2007; Барановская, 2012 и др.) и характеризовались как техногенные. В частности, источниками данных химических элементов может являться топливно – энергетический комплекс.

Ранее приведенные факты (Глава 4.1) о практически прямой взаимосвязи между гафнием и железом, ураном и хромом, а так же хромом и железом указывает на единый источник их совместного поступления в растение, факт техногенного происхождения которого не вызывает сомнений.

Таким образом, установлено среднее содержание 56 химических элементов в чернике обыкновенной (Vaccinium myrtillus), произрастающей на территории юга Сибири, многие из которых имеют логнормальное распределение и крайне широкий интервал варьирования концентраций, что объясняется различием регионов сбора, а также временным интервалом сбора (более 125 лет). На основе нормирования полученных нами средних содержаний элементов установлено, что спецификой накопления черникой Томской области является накопление Ag, Ta, Th, Eu, Au. Спецификой накопления элементов в чернике Республики Алтай является концентрирование Na, U, Nd, Cr, Zn, что является ярким индикатором различий геоэкологической обстановки в регионах. Также выявлено, что особенностью черники юга Сибири является аккумулярование Rb и Cs.

По величинам коэффициентов биологического поглощения установлено, что черника Томской области интенсивно поглощает с почвенными растворами Au, Ca, Br, Rb, Ba.

Выявленная геохимическая специфика 6 регионов Томской области, а также Алтайского региона, которая показывает высокую индикационную способность черники для выявления эколого-геохимических аномалий различной природы. В связи с тем, что черника является кустарничком, который зимует без листьев и тем самым в меньшей степени отражает пылеаэрозольную составляющую, данный вид наиболее ярко показывает геохимические аномалии, которые обусловлены составом подстиلاющего слоя (почвы). Рассмотренные показатели соотношений элементов в составе черники, подтверждают высокую индикационную способность данного вида для выявления геохимических аномалий.

4.3 Индикаторные свойства элементного состава брусники (Vaccinium vitis-idaea)

Средние содержания химических элементов в бруснике (Vaccinium vitis-idaea) на отдельных территориях юга Сибири оценивалось по результатам анализа 28 проб, в составе брусники определено 56 химических элементов, для 28 из них рассчитаны статистические

параметры. В генерализованной выборке по бруснике распределение химических элементов соответствует в большей степени логнормальному закону. В общем виде статистические параметры элементов в бруснике на территории юга Сибири представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Статистические параметры выборки по бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) территории юга Сибири (N=28, мг/кг сухого вещества)

Элемент	Среднее	Минимум	Максимум	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэф. вариации, %
Na	109±22	1,8	420	53,8	50	117,6	108
Ca	4098±305	1190	8670	4050	4110	1612	39
Sc	0,03±0,007	0,004	0,17	0,018	0,004	0,035	110
Cr	2,0±0,73	0,042	13,2	0,1	0,1	3,8	194
Fe	315±45	11,97	860	208,1	150	236	75
Co	0,2±0,03	0,03	0,6	0,183	0,03	0,16	68
Zn	35±4,6	2,5	88,3	25,2	2,5	24,6	71
As	0,14±0,02	0,0132	0,379	0,126	0,2	0,092	68
Br	8,0±1,5	0,718	28,9	3,550	-	8,181	102
Rb	5,4±0,8	0,288	21,2	4,822	-	4,009	74
Sr	14±1,8	5,31	40,0	10,22	10	9,328	67
Ag	0,07±0,02	0,05	0,59	0,05	0,05	0,108	149
Sb	0,07±0,02	0,02	0,35	0,032	0,02	0,090	135
Cs	0,03±0,006	0,02	0,13	0,028	0,04	0,032	96
Ba	53±6	6,54	131,6	44,1	-	31,0	59
La	0,15±0,04	0,01	0,99	0,085	0,12	0,220	142
Ce	0,3±0,08	0,05	1,7	0,24	0,05	0,404	121
Nd	0,7±0,2	0,04	5,7	0,4	0,45	1,091	163
Sm	0,02±0,005	0,01	0,12	0,01	0,01	0,028	137
Eu	0,004±0,001	0,002	0,022	0,002	0,002	0,005	124
Tb	0,006±0,001	0,003	0,026	0,005	0,005	0,006	117
Yb	0,01±0,003	0,005	0,064	0,005	0,005	0,014	136
Lu	0,002±0,0004	0,004	0,008	0,001	0,0005	0,002	113
Hf	0,03±0,005	0,001	0,13	0,024	0,05	0,027	91
Ta	0,006±0,0009	0,004	0,03	0,005	0,005	0,005	82
Au	0,02±0,005	0,002	0,091	0,002	0,002	0,025	147
Th	0,03±0,007	0,01	0,14	0,016	0,01	0,034	129
U	0,04±0,009	0,04	0,19	0,036	0,045	0,046	108
Be*	0,058						
B*	9,4						
Mg*	984						
Al*	218						
P*	751						
K*	2585						
Ti*	9,7						
V*	0,20						
Mn*	1450						
Ni*	0,78						
Cu*	3,9						

Элемент	Среднее	Минимум	Максимум	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэф. вариации, %
Ga*	0,12						
Ge*	0,02						
Y*	0,05						
Zr*	0,29						
Nb*	0,06						
Mo*	0,22						
Cd*	0,08						
Pr*	0,020						
Gd*	0,016						
Dy*	0,012						
Ho*	0,002						
Er*	0,005						
Tm*	0,0008						
W*	0,055						
Tl*	0,008						
Pb*	0,62						
Bi*	0,04						

Примечание: X* - среднее содержание элемента определенного с помощью ICP-MS для брусники по результатам 8 проб.

Коэффициенты вариации содержания элементов в бруснике изменяются от 39 до 194 %. Высокий разброс значений, имеющий место в пределах всей выборки, может быть обусловлен значительными различиями во временном интервале сбора (более 70 лет). Следует отметить, что максимальный коэффициент вариации для данного вида выше, чем для черники. Возможно, это обусловлено как видовой спецификой, так и различиями мест отбора проб.

Гистограммы распределения элементов в составе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) имеют достаточно сложный характер: в одних случаях они соответствуют нормальному закону распределения, в других – логнормальному (рисунок А.5 – А.8, Приложение А). Рассчитанные параметры каждого элемента характеризуют всю выборку брусники в целом для территории юга Сибири, так же можно отметить отдельные аномальные значения содержаний, которые выделяются на гистограммах распределения.

Сводные данные по содержанию химических элементов в составе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири и Томской области, а также данные В. Markert по содержанию химических элементов в «обобщенном стандартном растении» представлены в таблице 4.9. Следует отметить, что по сравнению с «обобщенным стандартным растением» брусника юга Сибири накапливает в своем составе в большей степени Sc, Cr, Fe, As, Br, Ba, Nd, Ta, Au, Th, U. Остальные элементы имеют концентрации ниже концентраций соответствующих элементов в «обобщенном стандартном растении», либо одинаковые с ними.

Таблица 4.9 - Содержание элементов в составе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и в «обобщенном стандартном растении» по В. Markert, мг/кг сухого вещества

Эле- мент	Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)		Markert, 1991	Эле- мент	Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)		Markert, 1991
	Томская область (N=25)	юг Сибири (N=28)			Томская область (N=25)	юг Сибири (N=28)	
Na	118	109	150	Ba	55	53	40
Ca	4222	4098	10000	La	0,17	0,15	0,2
Sc	0,04	0,03	0,02	Ce	0,4	0,3	0,5
Cr	2,2	2,0	1,5	Nd	0,7	0,7	0,2
Fe	336	315	150	Sm	0,02	0,02	0,04
Co	0,2	0,2	0,2	Eu	0,005	0,004	0,008
Zn	37	35	50	Tb	0,006	0,006	0,008
As	0,15	0,1	0,1	Yb	0,01	0,01	0,02
Br	8,6	8,0	4	Lu	0,002	0,002	0,003
Rb	6	5,4	50	Hf	0,03	0,03	0,05
Sr	13	14	50	Ta	0,006	0,006	0,001
Ag	0,08	0,07	0,2	Au	0,02	0,02	0,001
Sb	0,07	0,07	0,1	Th	0,03	0,03	0,005
Cs	0,04	0,03	0,2	U	0,04	0,04	0,01

Выявленную геохимическую специализацию брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири, хорошо отражает диаграмма, построенная по данным химического состава изученных образцов и данных В. Markert по «обобщенному стандартному растению» (1991) (рисунок 4.19).

Рассчитанные коэффициенты концентрации (относительно среднего содержания элементов в сухом веществе растений по В. Markert, 1991 и относительно среднего содержания в трех видах растений юга Сибири) химических элементов в составе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) Томской области показали, что спецификой брусники юга Сибири является накопление Ag (таблица 4.9).

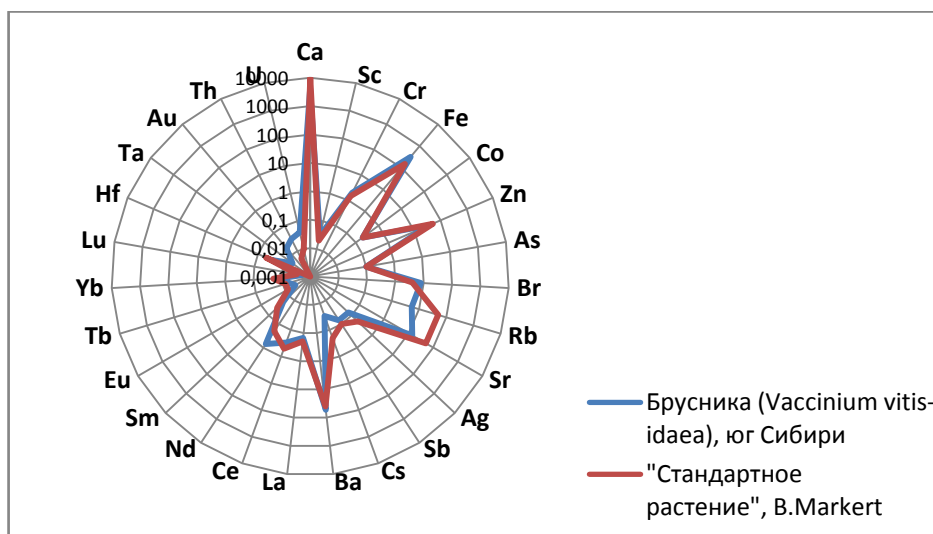


Рисунок 4.19 - Состав брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири и «обобщенного стандартного растения» по В. Markert (1991)

Таблица 4.9 - Коэффициенты концентрации элементов в составе брусники
(*Vaccinium vitis-idaea*)

Место сбора	Кк (относительно В. Markert, 1991)*	Кк (относительного среднего содержания в трех видах растений юга Сибири)
Томская область	Au ₂₀ Ta ₆ Th ₆ U ₄ Nd _{3,5} Fe _{2,2} Br _{2,2} Sc _{2,0} As _{1,5} Cr _{1,47} Ba _{1,4} Co ₁ La _{0,9} Ce _{0,8} Na _{0,8} Tb _{0,75} Zn _{0,74} Sb _{0,70} Lu _{0,67} Eu _{0,63} Hf _{0,6} Sm _{0,5} Yb _{0,5} Ca _{0,42} Ag _{0,4} Sr _{0,3} Cs _{0,2} Rb _{0,1}	Ag _{1,2} Ba _{1,1} Sb _{1,0} Cs _{1,0} Nd _{0,9} Ta _{0,9} La _{0,8} Ce _{0,8} Hf _{0,8} Au _{0,8} Ca _{0,7} Zn _{0,7} Eu _{0,7} Lu _{0,7} Sc _{0,6} As _{0,6} Br _{0,6} Rb _{0,6} Sm _{0,6} Yb _{0,6} Na _{0,5} Fe _{0,5} Sr _{0,5} Tb _{0,5} Th _{0,5} Co _{0,4} U _{0,4} Cr _{0,3}

Примечание: полужирным выделены элементы накапливающиеся в бруснике регионов с учетом специфики юга Сибири.

Также, необходимо отметить, что коэффициенты биологического поглощения, рассчитанные относительно почв Томской области, выявляют на порядок большее концентрирование брусникой Ca, Br, Ba, Au (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Коэффициенты биологического поглощения химических элементов брусники
Томской области

Эле- мент	Содержание в почве, мг/кг	Содержание в растениях	
		Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	
		мг/кг	КБП
Na	8700	109	0,013
Ca	20760	4098	0,197
Sc	9	0,03	0,003
Cr	119	2	0,017
Fe	23002	315	0,014
Co	12	0,2	0,016
Zn	-	35	-
As	4	0,1	0,022
Br	19	8	0,417
Rb	77	5,4	0,07
Sr	194	14	0,072
Ag	2,0	0,07	0,035
Sb	1,1	0,07	0,061
Cs	3,1	0,03	0,01
Ba	501	53	0,106
La	23	0,15	0,007
Ce	45	0,3	0,007
Nd	-	0,7	-
Sm	4,8	0,02	0,004
Eu	0,8	0,004	0,005
Tb	0,7	0,006	0,009
Yb	2,3	0,01	0,004
Lu	0,4	0,002	0,005
Hf	5,5	0,03	0,005
Ta	0,9	0,006	0,007
Au	0,02	0,02	0,815

Эле- мент	Содержание в почве, мг/кг	Содержание в растениях	
		Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	
		мг/кг	КБП
Th	5,7	0,03	0,005
U	2,3	0,04	0,017

Примечание: В связи с тем, что нами при анализе гербарного материала было использовано не озолненное сухое вещество, коэффициенты биологического поглощения чрезвычайно малы.

Так, среднее содержание кальция в составе брусники составляет 4098 мг/кг. Распределение кальция подчиняется нормальному закону и каких - либо заметных аномалий не выявлено. Среднее содержание брома в сборах брусники составляет 8 мг/кг. Его повышенные концентрации отмечаются в районе п.Самусь в 2008г. (максимальная концентрация 29 мг/кг сухого вещества), в районе п.Тимирязево в 2011г. Таким образом, бромная специфика, установленная для черники, характерна и для этого вида растения на данной территории.

Среднее содержание бария в сборах брусники составляет 53 мг/кг. Повышенные содержания бария фиксируются в сборах брусники в районе р. Тым в долине р. Польшу в 1951г., в Каргасокском районе п. Мыльджино в 1958г. (максимальное содержание 132 мг/кг сухого вещества), в Чаинском районе д. Новоселово в 1963г.

КБП золота в бруснике наиболее высок. Его среднее содержание составляет 0,02 мг/кг. Золото имеет повышенные концентрации в сборах брусники в районе р. Тым в долине р. Польшу в 1951г., в районе п. Тимирязево в 1963г. и в 2012г (максимальное содержание 0,091 мг/кг сухого вещества) и в п. Новоселово в 1963г.

Рассмотрение накопления химических элементов брусничкой в районах Томской области показало, что их содержание значимо варьирует. Коэффициенты концентрации, рассчитанные относительно выборки по Томской области позволил выявить геохимическую специфику 6 районов области, где производился отбор в 2012 году (рисунок 4.20).

Наибольшим спектром накапливаемых элементов характеризуются растения с территории Томского района. Из изученных 56 элементов в растениях этой территории накапливается 25, то есть практически половина. В то время как в Асиновском районе концентрируется лишь 5 из изученных элементов: максимально – хром, который характерен так же для листьев тополей данной территории (Барановская, 2011), а так же уран, лютеций и незначительно – мышьяк и сурьма. Весьма специфично смотрится Чаинский район – накоплением урана, гафния, натрия, хрома, железа, рубидия и брома, а так же территория Каргасокского района, где в растениях концентрируется цезий, лютеций, а так же золото и серебро. Для брусники с территории сельскохозяйственных Кривошеинского и Молчановского районов характерна некоторая аналогия в накоплении Fe, Sc, Co, Zn, As, Rb, Br и Hf, со специфичным дополнительным концентрированием на территории Молчановского района лютеция, самария, церия, а так же натрия, цезия и стронция.



Рисунок 4.20 - Коэффициенты концентраций элементов в составе брусники на территории районов Томской области (сухое вещество, нормирование к среднему по области)

Анализ соотношений элементов позволил установить, что брусника северных районов (с. Мыльджино, п. Молодежный, д. Суйга), отобранная в период 2012 года, характеризуется показателями торий – уранового соотношения от 2 до 4, тем самым, резко выделяется время

пожаров в 2012 году, когда на территории севера Томской области зафиксированы мощные пожары (рисунок 4.21).

Томский район по величинам Th/U соотношения характеризуется урановой спецификой, значение показателей варьирует в пределах от 0,3 до 0,7, что указывает на привнос урана в природную среду и как следствие в растение, и связано, на наш взгляд, с функционированием предприятия ЯТЦ в данной местности.

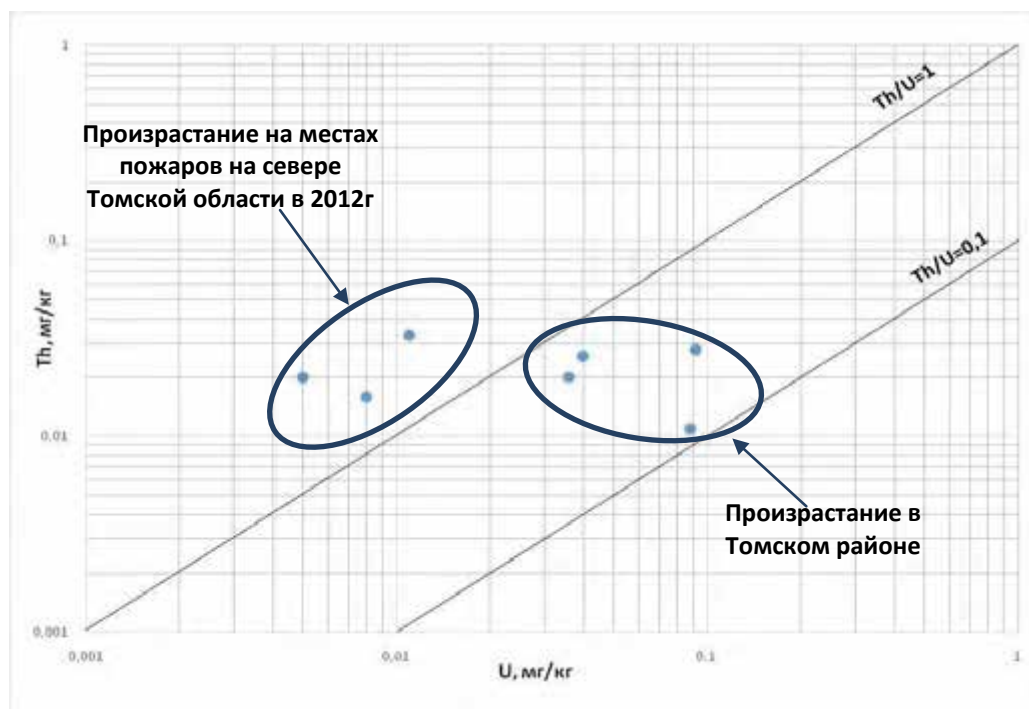


Рисунок 4.21 – Характер изменения отношения Th/U в сухом веществе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) Томской области

Кроме того, следует отметить, что брусника является вечнозеленым кустарничком, который зимует вместе с листьями, и тем самым максимально отражает пылеаэрозольную составляющую и в большей степени показывает техногенные геохимические аномалии, которые обусловлены пылеаэрозольным загрязнением среды.

Так, по индикаторным показателям отношений элементов на территории Томской области установлено, что для Томского района характерна цериевая специфика и накопление урана, содержание легких лантаноидов в Томском районе больше чем на севере Томской области (таблица 4.11).

Для севера области характерна высокое содержание тория и накопление церия, а также преобладание тяжелых лантаноидов (таблица 4.11). Данные специфики районов во многом согласуются с ранее проведенным нормированием (рисунок 4.20), что еще раз подтверждает высокую индикационную способность брусники для выявления техногенных аномалий.

Таблица 4.11 – Индикаторные показатели отношений элементов в составе брусники на территории Томской области

	Среднее по Томской области	Max	Min	Томский район	Север Томской области
Th/U	1,2	4	0,1	0,5	2,4
La/Ce	0,3	0,4	0,1	0,3	0,4
La/Yb	25	109	3	22	34
L/T	58	172	8	67	56

Исследование корреляционных взаимосвязей в бруснике, произрастающей на территории юга Сибири показало, что положительные корреляционные связи устанавливаются между многими химическими элементами (таблица Б.2, Приложение Б). Значимые сильные корреляционные связи устанавливаются между элементами группы лантаноидов (рисунок 4.22), кроме неодима, здесь коэффициенты корреляции варьируют от 0,52 до 0,97, что может свидетельствовать о природных геохимических аномалиях (циркон-ильменитовых месторождениях), которые широко распространены в пределах Томской области.

Также, есть такие связи, которые аналогичны корреляционным связям между элементами в составе черники обыкновенной юга Сибири. Эти взаимосвязи характеризуют развитие топливно-энергетического комплекса и устанавливаются между U-Cr ($r = 0,71$), Hf-Fe ($r = 0,39$), Cr-Fe ($r = 0,64$), Ca-Sr ($r = 0,55$), Ca-Ba-Sr, Ag-Rb ($r = 0,76$). Значимые отрицательные корреляционные связи устанавливаются в парах Br – Nd ($r = -0,38$), Nd – Co ($r = -0,37$), Nd – Zn ($r = -0,37$).

В накоплении элементов в бруснике на территории юга Сибири выявлено четыре ассоциации элементов (рисунок 4.23). Причем некоторые зависимости аналогичны таковым между элементами в составе черники обыкновенной юга Сибири.

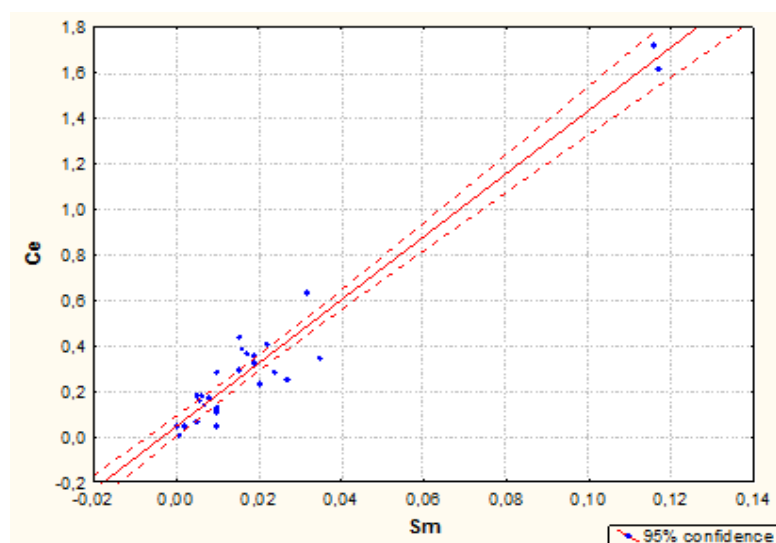


Рисунок 4.22 - Зависимость уровня содержания самария от содержания церия в сборах брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

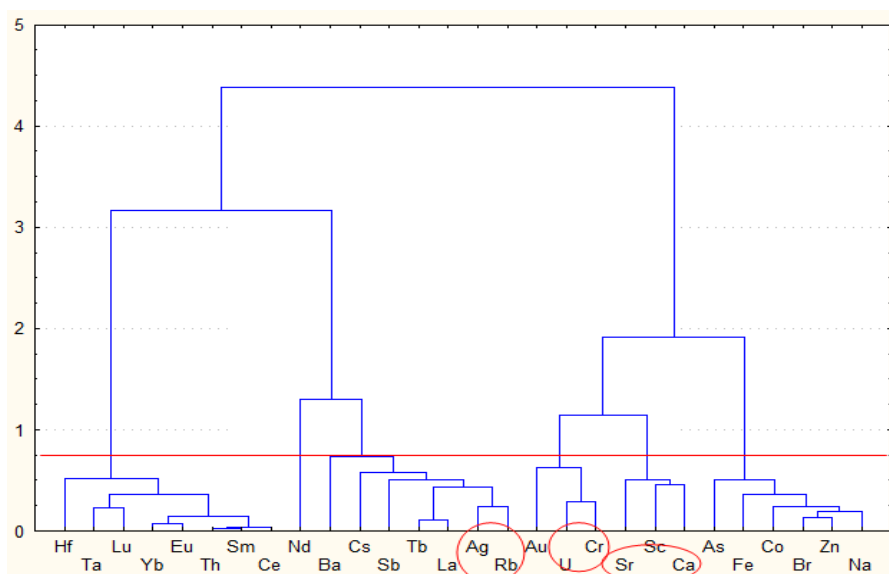


Рисунок 4.23—Ассоциативные связи химических элементов брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири (Ward's method, 1-Pearson $r=0,66$)

Таким образом, установлено среднее содержание химических элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири, многие из которых, имеют логнормальное распределение и широкий интервал варьирования содержаний, что объясняется различием времени сбора (более 70 лет). Выявлено, что особенностью брусники юга Сибири является аккумулятивное в своем составе Ag.

Установлено, что брусника Томской области интенсивно поглощает с почвенными растворами Br, Ca, Au, Ba.

Выявлена геохимическая специфика 6 районов Томской области, которые значительно отличаются друг от друга спектром накапливающихся химических элементов.

Анализ показателей соотношений элементов показал, что брусника в силу особенностей вида, является надежным индикатором техногенных геохимических аномалий, обусловленных пылеаэрозольным загрязнением среды.

Анализ корреляционных зависимостей показал, что значимые сильные корреляционные связи между элементами группы лантаноидов (La-Tb; Sm-Ce и др. кроме неодима, здесь коэффициенты корреляции варьируют от 0,52 до 0,97) характеризуют природные геохимические аномалии (циркон-ильменитовые месторождения). На ряду с этим, между элементами устанавливаются и весьма специфические связи (U-Cr, Hf-Fe, Fe-Cr), которые характеризуют взаимное поступление элементов в условиях техногенеза (развитие топливно-энергетического комплекса). Значимые отрицательные корреляционные связи устанавливаются в парах Br – Nd, Nd – Co, Nd – Zn.

4.4 Индикаторные свойства элементного состава лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim)

Средние содержания элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) оценивались по представительному материалу – 121 проба из различных регионов юга Сибири: Томская область, Республика Алтай и Алтайский край, Новосибирская область, Красноярский край и Республика Хакасия (таблица 4.12).

Таблица 4.12 - Статистические параметры элементного состава лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) территории юга Сибири (N = 121, мг/кг сухого вещества)

Элемент	Среднее ± ошибка среднего	Минимум	Максимум	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэф. вариации, %
Na	294±21	50	1010	270	50	228	78
Ca	6944±345	244	18352	7182	9540	3790	55
Sc	0,09±0,007	0,004	0,35	0,07	0,056	0,08	89
Cr	9±1,1	0,1	48,8	1,4	0,1	12	131
Fe	881±76	150	3664	780	150	834	95
Co	0,65±0,06	0,05	3,0	0,5	2,92	0,67	103
Zn	65±4	11	196,3	58	2,5	41	63
As	0,3±0,02	0,2	1,33	0,2	0,2	0,22	73
Br	18±2	0,5	111,7	9,2	112	22	122
Rb	9±0,8	1	43,6	6,4	1	9	100
Sr	31±2,3	10	121,1	25,3	10	25	81
Ag	0,06±0,003	0,05	0,23	0,05	0,05	0,035	58
Sb	0,07±0,006	0,02	0,4	0,05	0,02	0,067	96
Cs	0,04±0,004	0,04	0,25	0,033	0,04	0,039	98
Ba	43±3	10	173,4	33,6	-	33	77
La	0,3±0,02	0,01	1,04	0,22	0,52	0,24	80
Ce	0,6±0,05	0,05	2,32	0,4	0,05	0,59	98
Nd	0,8±0,06	0,45	2,71	0,51	0,45	0,62	78
Sm	0,05±0,004	0,01	0,20	0,033	0,01	0,048	96
Eu	0,008±0,0008	0,003	0,04	0,003	0,0025	0,008	100
Tb	0,013±0,004	0,001	0,54	0,005	0,005	0,049	377
Yb	0,022±0,003	0,005	0,13	0,01	0,005	0,027	123
Lu	0,003±0,0003	0,001	0,02	0,002	0,0005	0,004	133
Hf	0,05±0,004	0,01	0,19	0,041	0,01	0,045	90
Ta	0,007±0,0005	0,005	0,05	0,005	0,005	0,006	86
Au	0,03±0,004	0,002	0,21	0,013	0,002	0,038	127
Th	0,07±0,007	0,01	0,45	0,052	0,01	0,073	104
U	0,13±0,01	0,045	0,49	0,081	0,045	0,112	86

Отметим, что коэффициенты вариации содержания элементов лабазника изменяются от 55 до 377%. Высокий разброс значений, имеющий место в пределах всей исследованной

группы, и существенно отличный от такового для двух других видов растений, может быть обусловлен видовой спецификой, более широкой географией регионов сбора, а также временным интервалом сбора.

Особенности, характеризующие закон распределения каждого элемента, наиболее вероятная частота его встречаемости и вариации аномальных значений при уровне достоверности 95% частоты встречаемости, показаны на рисунках А.9 – А.12 в Приложении А. В выборке распределение химических элементов соответствует в основном логнормальному закону распределения. Гистограммы распределения каждого химического элемента в составе лабазника характеризуют всю выборку в целом для юга Сибири, а так же можно увидеть отдельные аномальные значения содержаний, которые выделяются на гистограммах.

Если взять за стандарт данные В. Markert по «обобщенному стандартному растению» (1991), то лабазник вязолистный, собранный на территории юга Сибири концентрирует в своем составе преимущественно Na, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Ta, Au, Th, U (таблица 4.13). Пониженные содержания, относительно стандартного растения отмечаются у таких элементов как Ca, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs. Из таблицы видно, что средние содержания одних и тех же химических элементов в составе лабазника варьируют в широких пределах в зависимости от региона сбора. Так, в сборах лабазника с территории Республики Хакасия отмечается повышенные содержания Cr, Fe, Nd и Au, по сравнению с другими областями и югом Сибири в целом. В составе лабазника Красноярского края отмечены повышенные содержания Cr, Fe, Br и U. В сборах лабазника с территории Новосибирской области отмечаются повышенные содержания Sc, Ta и Th, а лабазник Алтайского края выделяется повышенным содержанием Au, относительно других регионов Сибири.

Таблица 4.13 - Содержание химических элементов в составе лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) и в «обобщенном стандартном растении» по В. Markert, мг/кг сухого вещества

Элемент	Лабазник вязолистный (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim)						B. Markert, 1991
	Томская область (N=58)	Алтай (N=27)	Новосибирская область (N=18)	Красноярский край (N=12)	Республика Хакасия (N=6)	юг Сибири (N=121)	
Na	175	367	442	390	467	294	150
Ca	5258	8343	8324	8969	8768	6944	10000
Sc	0,06	0,11	0,13	0,08	0,11	0,09	0,02
Cr	2,1	17	6	22	23	9	1,5
Fe	342	1497	939	1558	1797	881	150
Co	0,3	1,0	0,7	1,4	1,2	0,7	0,2
Zn	53	53	82	103	76	65	50
As	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,1
Br	13	20	12	43	25	18	4

Элемент	Лабазник вязолистный (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim)						B. Markert, 1991
	Томская область (N=58)	Алтай (N=27)	Новосибирская область (N=18)	Красноярский край (N=12)	Республика Хакасия (N=6)	юг Сибири (N=121)	
Rb	8,6	4,1	9,7	18	13	9	50
Sr	25	32	48	31	41	31	50
Ag	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06	0,2
Sb	0,04	0,12	0,05	0,10	0,13	0,07	0,1
Cs	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,2
Ba	44	38	40	49	42	43	40
La	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Ce	0,5	0,5	1,0	0,7	0,9	0,6	0,5
Nd	0,7	0,8	0,8	1,0	1,1	0,8	0,2
Sm	0,04	0,05	0,07	0,04	0,06	0,05	0,04
Eu	0,008	0,005	0,009	0,007	0,009	0,008	0,008
Tb	0,008	0,009	0,041	0,007	0,011	0,013	0,008
Yb	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04	0,02	0,02
Lu	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,003	0,003
Hf	0,03	0,07	0,07	0,06	0,07	0,05	0,05
Ta	0,006	0,006	0,008	0,006	0,008	0,007	0,001
Au	0,010	0,040	0,030	0,025	0,085	0,030	0,001
Th	0,050	0,090	0,098	0,070	0,090	0,070	0,005
U	0,06	0,18	0,14	0,24	0,23	0,13	0,01

Геохимическую специализацию лабазника вязолистного, собранного на территории юга Сибири, хорошо отражает диаграмма, построенная по данным химического состава изученных образцов и данных B.Markert по «обобщенному стандартному растению» (рисунок 4.24).

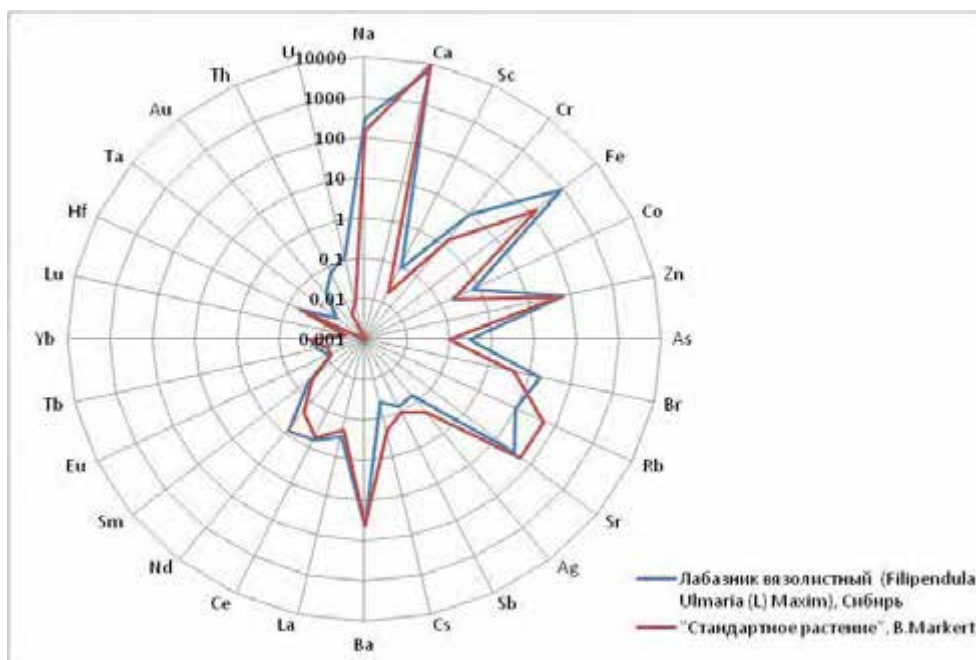


Рисунок 4.24 – Элементный состав лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim), собранного на территории юга Сибири и «обобщенного стандартного растения» по Markert

Относительно рассчитанных коэффициентов концентраций (относительно среднего содержания элементов в сухом веществе растений по B.Markert, 1991 и относительно среднего

содержания в трех лекарственных растениях юга Сибири) по различным регионам, установлено, что в Республике Алтай и Алтайском крае лабазник аккумулирует в своем составе хром и железо, в Новосибирской области – тербий, в Красноярском крае – хром, бром и железо, в Республике Хакасия – хром, золото и железо (таблица 4.14). Таким образом, данный вид растения является наиболее ярким индикатором изменяющихся обстановок по сравнению с черникой и брусникой.

Таблица 4.14 - Коэффициенты концентрации элементов в составе лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim)

Место сбора	Кк (относительно V.Markert, 1991)*	Кк (относительного среднего содержания в трех видах растений юга Сибири)
Томская область	Au ₁₀ Th ₁₀ Ta ₆ U ₆ Nd _{3,5} Br _{3,25} Sc ₃ As ₃ Fe _{2,3} Co _{1,5} La _{1,5} Cr _{1,4} Na _{1,17} Ba _{1,1} Zn _{1,06} Sm ₁ Eu ₁ Tb ₁ Yb ₁ Lu ₁ Ce ₁ Hf _{0,6} Ca _{0,53} Sr _{0,50} Sb _{0,4} Ag _{0,25} Cs _{0,2} Rb _{0,17}	La _{1,4} As _{1,1} Sm _{1,1} Eu _{1,1} Yb _{1,1} Lu _{1,1} Sc _{1,0} Zn _{1,0} Sr _{1,0} Cs _{1,0} Ce _{1,0} Br _{0,9} Rb _{0,9} Ba _{0,9} Nd _{0,9} Ta _{0,9} Na _{0,8} Ca _{0,8} Ag _{0,8} Hf _{0,8} Th _{0,8} Tb _{0,7} Co _{0,6} Sb _{0,6} U _{0,6} Fe _{0,5} Au _{0,4} Cr _{0,3}
Республика Алтай и Алтайский край	Au ₄₀ Th ₁₈ U ₁₈ Cr₁₁ Fe₁₀ Ta ₆ Sc _{5,5} Co ₅ Br ₅ Nd ₄ As ₃ Na _{2,5} La _{1,5} Hf _{1,4} Sm _{1,3} Sb _{1,2} Tb _{1,13} Zn _{1,06} Ce ₁ Yb ₁ Lu ₁ Ba _{0,95} Ca _{0,83} Sr _{0,64} Eu _{0,63} Ag _{0,3} Cs _{0,15} Rb _{0,08}	Cr_{2,5} Fe_{2,3} Co _{1,9} Sc _{1,8} Hf _{1,8} U _{1,8} Sb _{1,7} Na _{1,6} Au _{1,6} Br _{1,4} La _{1,4} Sm _{1,4} Th _{1,4} Ca _{1,3} Sr _{1,3} As _{1,1} Nd _{1,1} Yb _{1,1} Lu _{1,1} Zn _{1,0} Ce _{1,0} Ag _{0,9} Ta _{0,9} Cs _{0,8} Tb _{0,8} Ba _{0,7} Eu _{0,7} Rb _{0,4}
Новосибирская область	Au ₃₀ Th ₂₀ U ₁₄ Ta ₈ Sc_{6,5}Fe_{6,3} Tb₅ Cr ₄ As ₄ Nd ₄ Co _{3,5} Br ₃ Na _{2,6} La ₂ Ce ₂ Sm _{1,8} Zn _{1,6} Yb _{1,5} Hf _{1,4} Eu _{1,1} Ba ₁ Lu ₁ Sr _{0,96} Ca _{0,8} Sb _{0,5} Ag _{0,4} Cs _{0,2} Rb _{0,19}	Tb_{3,7}Sc_{2,1} Ce _{2,1} Sm _{2,0} Na _{1,9} Sr _{1,9} La _{1,8} Hf _{1,8} Yb _{1,7} Zn _{1,6} As _{1,5} Th _{1,5} Fe _{1,4} U _{1,4} Ca _{1,3} Co _{1,3} Eu _{1,2} Ta _{1,2} Au _{1,2} Ag _{1,1} Nd _{1,1} Lu _{1,1} Rb _{1,0} Cs _{1,0} Cr _{0,9} Br _{0,8} Ba _{0,8} Sb _{0,7}
Красноярский край	Au ₂₅ U ₂₄ Cr₁₅Th₁₄Br₁₁ Fe₁₀ Co ₇ Ta ₆ Nd ₅ Sc ₄ As ₃ Na _{2,6} Zn ₂ La _{1,5} Ce _{1,4} Lu _{1,3} Hf _{1,2} Ba _{1,2} Sb ₁ Sm ₁ Ca _{0,9} Eu _{0,88} Tb _{0,88} Sr _{0,6} Yb _{0,5} Rb _{0,36} Ag _{0,35} Cs _{0,2}	Cr_{3,3} Br_{3,0} Co _{2,7} Fe_{2,4} U _{2,4} Zn _{2,0} Rb _{1,9} Na _{1,7} Ce _{1,5} Lu _{1,5} Hf _{1,5} Ca _{1,4} Sb _{1,4} La _{1,4} Sc _{1,3} Sr _{1,3} Nd _{1,3} As _{1,1} Ag _{1,1} Sm _{1,1} Th _{1,1} Ba _{1,0} Eu _{1,0} Au _{1,0} Ta _{0,9} Cs _{0,8} Tb _{0,6} Yb _{0,6}
Республика Хакасия	Au₈₅ U ₂₃ Th ₁₈ Cr₁₅ Fe₁₂ Ta ₈ Br _{6,3} Co ₆ Sc _{5,5} Nd _{5,5} Na _{3,1} As ₃ Yb ₂ Ce _{1,8} Lu _{1,7} La _{1,5} Sm _{1,5} Zn _{1,5} Hf _{1,4} Tb _{1,4} Sb _{1,3} Eu _{1,1} Ba _{1,0} Ca _{0,9} Sr _{0,8} Ag _{0,4} Rb _{0,3} Cs _{0,2}	Cr_{3,4} Au_{3,4} Fe_{2,7} Co _{2,3} Yb _{2,3} U _{2,3} Na _{2,0} Ce _{1,9} Lu _{1,9} Sc _{1,8} Sb _{1,8} Hf _{1,8} Br _{1,7} Sr _{1,7} Sm _{1,7} Zn _{1,5} Nd _{1,5} Ca _{1,4} Rb _{1,4} La _{1,4} Th _{1,4} Ag _{1,2} Eu _{1,2} Ta _{1,2} As _{1,1} Tb _{1,0} Cs _{0,8} Ba _{0,8}

Примечание: полужирным выделены элементы концентрирующиеся в лабазнике в зависимости от региона сбора.

Коэффициенты биологического поглощения химических элементов в лабазнике вязолистном Томской области, рассчитанные относительно почв Томской области выявляют относительно высокое содержание в лабазнике Au (таблица 4.15). Среднее содержание золота в сборах лабазника Томской области составляет 0,03 мг/кг. Максимальное содержание приурочено к району п.Черная речка и составляет 0,208 мг/кг сухого вещества. Эти данные,

характерные для всех изученных видов растений, подтверждают золоторудную специфику региона, оказывающую влияние на значимые концентрации данного элемента в растениях.

Таблица 4.15 – Коэффициенты биологического поглощения химических элементов лабазника вязолистного на территории Томской области

Эле- мент	Содержание в почве, мг/кг	Содержание в растениях	
		Лабазник вязолистный (<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim)	
		мг/кг	КБП
Na	8700	294	0,03
Ca	20760	6944	0,3
Sc	9	0,09	0,01
Cr	119	9	0,08
Fe	23002	881	0,04
Co	12	0,7	0,06
Zn	-	65	-
As	4	0,3	0,07
Br	19	18	0,9
Rb	77	9	0,1
Sr	194	31	0,2
Ag	2,0	0,06	0,03
Sb	1,1	0,07	0,06
Cs	3,1	0,04	0,01
Ba	501	43	0,09
La	23	0,3	0,01
Ce	45	0,6	0,01
Nd	-	0,8	-
Sm	4,8	0,05	0,01
Eu	0,8	0,008	0,01
Tb	0,7	0,013	0,02
Yb	2,3	0,02	0,009
Lu	0,4	0,003	0,008
Hf	5,5	0,05	0,009
Ta	0,9	0,007	0,008
Au	0,02	0,03	1,2
Th	5,7	0,07	0,01
U	2,3	0,13	0,06

На порядок меньше КБП Ca, Br, Rb, Sr. Высокое содержание брома приурочено к району п. Березкино в 2011г. – 74 мг/кг сухого вещества. Повышенное содержание рубидия в сборах лабазника отмечено в районе п. Аникино в 2012г. и составляет 44 мг/кг сухого вещества. Стронций имеет повышенные концентрации в сборах лабазника в районе п. Наумовка в 2004г. и в районе п. Зональный в 2012г. (максимальное содержание 78 мг/кг сухого вещества).

Анализ накопления химических элементов в лабазнике по районам Томской области показал, что этот вид растения концентрирует элементы вне зависимости от территории очень

активно и на этот процесс, по-видимому, оказывает значительное влияние временной фактор. Рассмотрение коэффициентов концентраций относительно среднего по выборке Томской области показал, что на территории четырех изученных районов концентрируются практически все из 28 изученных элементов. Различие лишь в количестве элементов, находящихся в более низкой концентрации (рисунок 4.25).

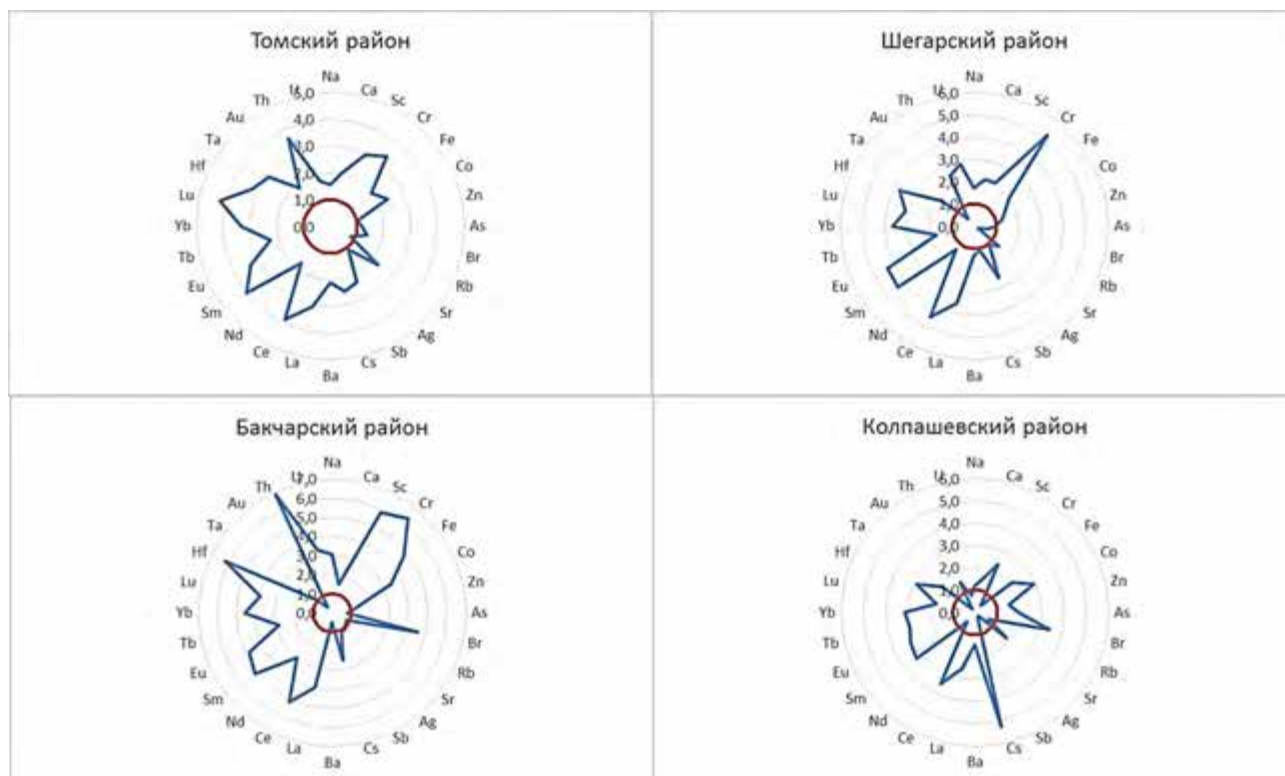


Рисунок 4.25 - Коэффициенты концентраций элементов в составе лабазника вязолистного на территории районов Томской области (сухое вещество, нормирование к среднему по области)

Так, для территории Томского района таков один только рубидий, для Шегарского – золото и бром, Бакcharского – золото, мышьяк, рубидий, барий, бром, а для Колпашевского – натрий, неодим, рубидий, сурьма, торий, хром.

Показатели Th/U соотношения в лабазнике на территории Томской области варьируют в широких пределах. Для лабазника произрастающего в п. Четь Тегульдетского района показатель отношения Th/U наиболее высок и составляет 19, что выявляет накопление тория на данной территории при низком содержании урана (рисунок 4.26).

Показатели Th/U соотношения в лабазнике Томского района изменяются от 1,05 до 5,03. Кроме того, Томский район четко дифференцируется по содержанию урана в зависимости от года сбора лабазника, так к первой группе с наиболее высоким ураном на фоне повышенного тория относятся образцы лабазника собранные в Томском районе в 2012г. Ко второй группе,

для которой характерно существенное концентрирование урана на фоне средних и низких содержаний тория, относятся образцы лабазника, собранные в Томском районе в 2011г.



Рисунок 4.26 – Характер изменения отношения Th/U в сухом веществе лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории Томской области

Низкими значениями торий – уранового отношения (менее 0,1) характеризуются районы (Наумовка, Химик), лабазник которых высоко обогащен ураном при низком содержании тория. Данные территории относятся к ближней зоне воздействия предприятия ЯТЦ. Бакcharский район, выделяется высоким содержанием как урана, так и тория в лабазнике.

Необходимо отметить, что лабазник вязолистный это однолетнее растение, которое полностью отмирает зимой и суммирует в своем составе только те пылеаэрозольные и почвенные эмиссии веществ, которые приходятся на период его роста и развития за год.

Так, по индикаторным показателям отношений элементов на территории Томской области можно отметить, что Тегульдетский район выделяется высоким содержанием тория и лантана в лабазнике, а тяжелых лантаноидов на данной местности несколько больше, чем в других районах области. Колпашевский, Бакcharский и Шегарский районы выделяются более высоким содержанием легких лантаноидов (таблица 4.16).

Таблица 4.16 – Индикаторные показатели отношений элементов в лабазнике вязолистном на территории Томской области

	Среднее по Томской области	Max	Min	Томский район	Тегульдетский район	Колпашевский район	Бакчарский район	Шегарский район
Th/U	1,52	19,23	0,03	1,08	7,12	1,42	1,55	0,66
La/Ce	0,75	4,38	0,04	0,75	1,06	0,42	0,45	0,45
La/Yb	9,53	70	0,2	9,64	6,07	10,9	11,6	12,7
L/T	18,43	84,0	0,4	17,54	13,00	34,1	33,3	36,3

Изучение специфики накопления химических элементов лабазником на территории Томской области и Алтайского региона показало, что имеет место существенное различие в их концентрировании (рисунок 4.27). Как и в случае с черникой обыкновенной, лабазник характеризуется значительно более широким спектром концентрирующихся элементов на Алтае по сравнению с Томской областью. Для последнего специфично накапливающимися являются лишь четыре элемента – европий, рубидий и менее значительно барий и цезий. Для понимания региональной специфики накопления химических элементов лабазником вязолистным на территории юга Сибири необходимо более детально рассмотреть эти процессы по каждому локальному региону.

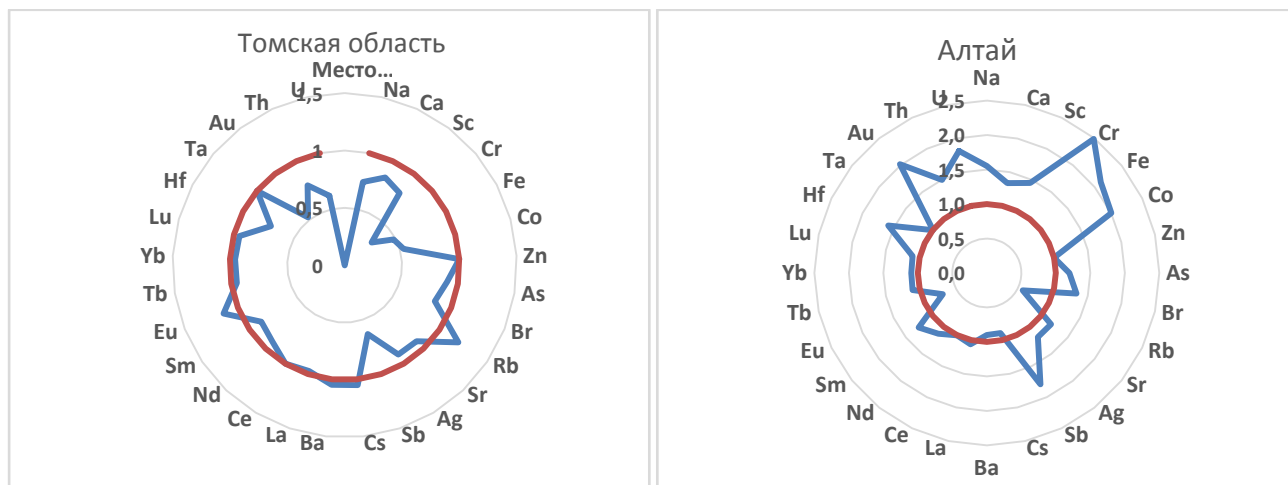


Рисунок 4.27 - Коэффициенты концентраций элементов в составе лабазника вязолистного на территории Томской области и Алтайского региона (сухое вещество, нормирование к среднему по выборке)

Алтайский край и Республика Алтай. Относительно рассчитанных по югу Сибири средних значений содержаний элементов в лабазнике вязолистном и нормирования относительно стандарта и среднего по растениям юга Сибири установлены повышенные

содержания в регионе Cr и Fe. Высокие содержания хрома фиксируются в сборах лабазника в районе оз. Телецкое в 1952г. (максимальная концентрация 48,8 мг/кг сухого вещества), в Шебалинском и Коксинском районе, с. Абай в 1955г., в Онгудайском районе р. Верх-Кекса в 1984г.

Железо имеет повышенные концентрации в сборах лабазника в районе оз. Телецкое в 1952г. (максимальная концентрация 3664 мг/кг сухого вещества), в Шебалинском районе с. Верхняя Черга в 1952г., в Усть-Коксинском районе с. Абай в 1955г., в Онгудайском районе р. Верх-Кекса в 1984г (максимальная концентрация 3664 мг/кг сухого вещества).

Кроме того, нами установлено влияние ландшафта на формирование элементного состава лабазника. Так, растения, произрастающие в пойме рек, характеризуются специфичным накоплением отдельных химических элементов по сравнению с растениями повышенных участков (рисунок 4.28). Этот факт так же необходимо учитывать при анализе территорий районов и регионов. Особенно это касается таких элементов, как Co, As, Br, Au.

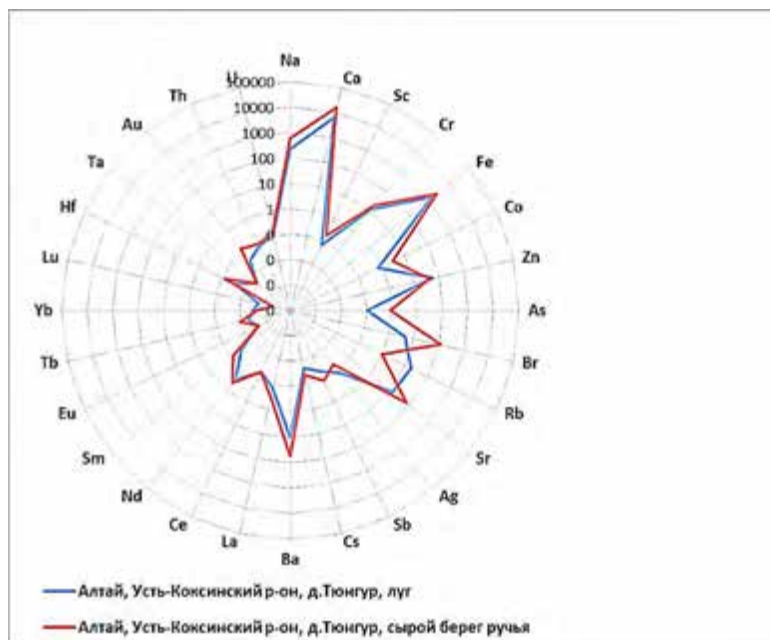


Рисунок 4.28 - Различие в содержании химических элементов в лабазнике вязолистном в зависимости от ландшафтных характеристик произрастания

Новосибирская область. Относительно рассчитанных по югу Сибири средних значений содержаний элементов в лабазнике вязолистном Новосибирской области и нормирования относительно стандарта и среднего по растениям юга Сибири установлено повышенное содержание в регионе Tb. Его повышенное содержание в сборах лабазника отмечено в Искитимском районе д. Нижний Коен в 1981г. и составляет 0,54 мг/кг сухого вещества.

В лабазнике **Красноярского края** установлены высокие содержания Cr, Br, Fe. А в лабазнике **республики Хакасия** – Au, Cr, Fe.

Показатели соотношений элементов в различных регионах юга Сибири также различны (таблица 4.17). Так, лабазник Томской области в большей степени обогащен торием и тяжелыми лантаноидами. Наиболее ярко – выраженной урановой специализацией растения и преобладанием легких лантаноидов характеризуется территория Красноярского края. Следует отметить незначительное колебание лантан – цериевого отношения с преобладанием показателя в Томской области.

Таблица 4.17 – Показатели соотношений элементов в лабазнике вязолистном в зависимости от региона сбора

Регион	Th/U	La/Yb	La/Ce	(La+Ce)/(Yb+Lu)
Алтай	0,8	32	0,5	70
Новосибирская область	0,6	18	0,4	42
Хакасия	0,5	15	0,4	39
Красноярский край	0,3	92	0,4	116
Томская область	1,5	10	0,7	18

Положительные корреляционные связи между элементами в составе лабазника устанавливаются между многими химическими элементами (таблица Б.3, Приложение Б). При выборке в 121 пробу значимой считается корреляционная связь на уровне 0,17 (95%). Сильные значимые положительные корреляционные связи устанавливаются между Th – Hf ($r=0,84$), Sm – La ($r=0,94$), U – Hf ($r = 0,69$), Ce – Sm ($r=0,89$), Sm – Sc ($r=0,88$), Sc – Th ($r=0,90$) и др. Данные связи между элементами в лабазнике характерны для геохимических связей в природных аномалиях, а именно циркон-ильменитовых месторождениях, которые широко развиты на территории Томской области (рисунок 4.29).

Также между отдельными элементами в лабазнике устанавливаются сильные значимые положительные связи, которые характеризуют процессы техногенеза, а именно топливно-энергетический комплекс. Это связи между элементами U-Cr ($r = 0,86$), Hf-Fe ($r = 0,77$), Cr-Fe ($r = 0,92$), которые аналогичны связям между этими элементами в уже рассмотренных нами бруснике и чернике (рисунок 4.30).

Значимых отрицательных взаимосвязей между элементами в лабазнике не устанавливается.

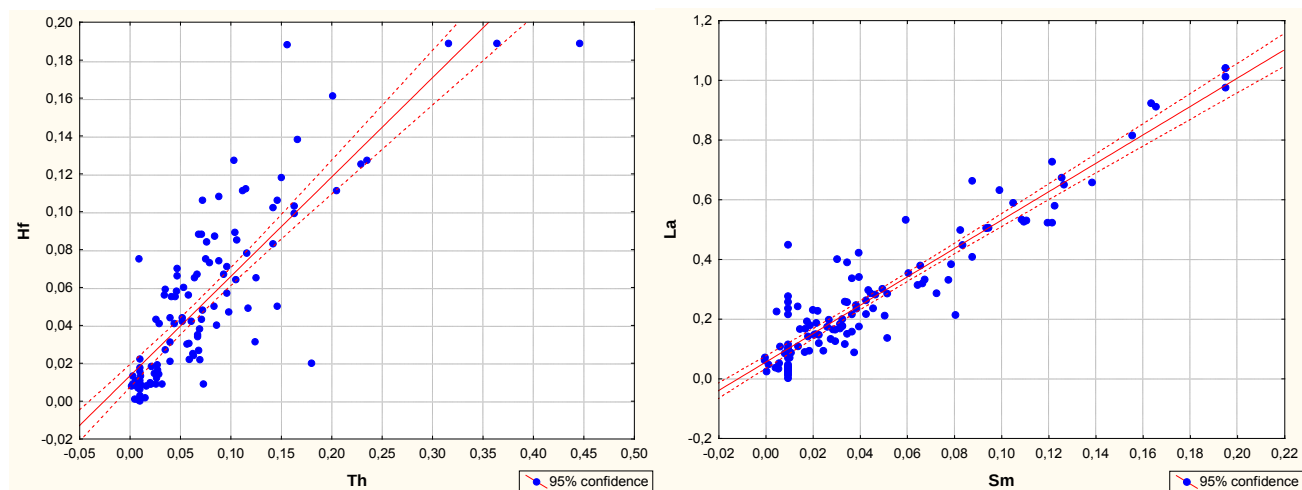


Рисунок 4.29 - Зависимость уровня содержания тория от содержания гафния и самария от содержания лантана в сборах лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

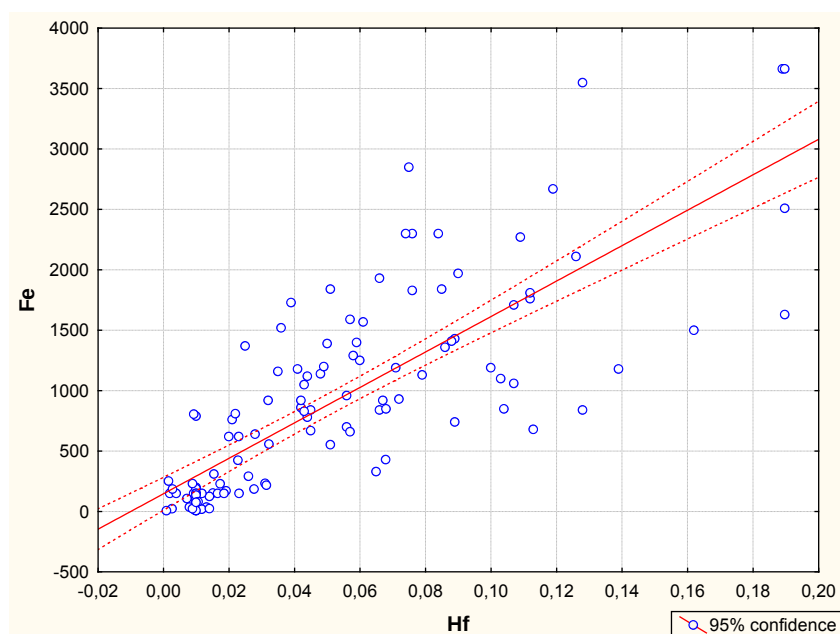


Рисунок 4.30 - Зависимость уровня содержания железа от содержания гафния в сборах лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

В накоплении элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) территории юга Сибири выявлены четыре ассоциации элементов (рисунок 4.31). Причем, некоторые ассоциации элементов уже отмечались нами в чернике и бруснике юга Сибири.

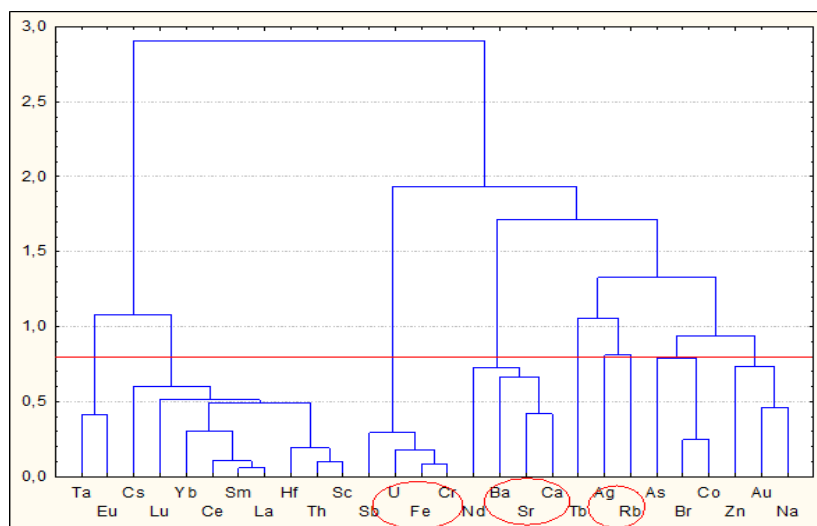


Рисунок 4.31 -Ассоциативные связи химических элементов лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири (Ward's method, $1-\text{Pearson } r = 0,83$)

Таким образом, установлено среднее содержание 28 химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири, многие из которых, имеют логнормальное распределение и крайне широкий интервал варьирования концентраций, что объясняется различием регионов сбора, а также временным интервалом сбора (более 111 лет). На основе нормирования полученных нами средних содержаний элементов к данным В. Markert и среднему содержанию элементов в трех видах растений юга Сибири, по различным регионам, установлено, что в Республике Алтай и Алтайском крае лабазник вязолистный аккумулирует в своем составе хром и железо, в Новосибирской области – тербий, в Красноярском крае – хром, бром и железо, в Республике Хакасия – хром, железо и золото.

Выявленные различия в элементном составе лабазника вязолистного различных регионов, а также показатели отношений химических элементов свидетельствуют о том, что его состав может служить индикатором геоэкологической обстановки территории. Причем, с учетом особенностей вида (однолетнее растение, которое полностью отмирает зимой), лабазник суммирует в своем составе только те пылеаэрозольные и почвенные эмиссии веществ, которые приходится на период его роста и развития за конкретный год.

По коэффициентам биологического поглощения химических элементов установлено, что лабазник, произрастающий на территории Томской области, поглощает с почвенными растворами преимущественно Ca, Br, Rb, Sr, Au.

Анализ корреляционных зависимостей показал, что особенностью содержания элементов в лабазнике являются значимые взаимосвязи между такими элементами как U-Cr, Hf-Fe, Cr-Fe, Ca-Sr, Ag-Rb, которые аналогичны связям между этими элементами в бруснике и чернике юга Сибири и характеризуют их взаимное поступление в условиях техногенеза.

Выявлены корреляционные связи, которые характерны для природных геохимических аномалий циркон-ильменитовых месторождений. Значимых отрицательных взаимосвязей между элементами в лабазнике не устанавливается.

4.5 Отражение процессов металлизации биосферы в элементном составе растений юга Сибири

Исследование изменения элементного состава растительности во временных рядах проводилась многими исследователями (Сабилов, 1988; Тимофеева, 1993; Ильин, 1985; Архангельская, 2004; Рихванов, 2002, 2004, 2005, 2007, 2015 и др.). В основном, динамика элементного состава растительности исследуется за небольшой промежуток времени, как правило, за годовой период роста и развития растения и включает в себя ограниченное количество элементов, либо используется дендрохронологический метод оценки состояния природной среды, который включает в себя исследование элементного состава годовых колец деревьев за значительный промежуток времени, но, данный метод оценки не может учесть перераспределение элементов между кольцами дерева, т.к. потоки питательных веществ постоянно циркулируют по стволу дерева и за счет этого возможно перераспределение элементов между отдельными кольцами.

Исследование изменения элементного состава материала однолетних травянистых и многолетних кустарничковых лекарственных растений за 126-летний промежуток времени с 1886 по 2012 годы позволил провести реконструкцию изменений, отражающих процессы, происходящие в природной среде, как в глобальном масштабе, так и на уровне отдельных регионов.

Одним из элементов, имеющих тенденцию к увеличению с годами в изученных видах растений является натрий (рисунок 4.32, 4.33, 4.34). Однако, если для двух видов – брусники и черники – эта тенденция не вызывает сомнений как в глобальном масштабе, так и на уровне регионов и конкретных мест, то для лабазника, как однолетнего растения, процесс концентрирования элемента более сложен (рисунок 4.34). Тем не менее, пики максимальных концентраций натрия в лабазнике приходятся на современный период, 1994, 2000 гг. Локальная тенденция (п. Большая Галка) содержания натрия в составе лабазника в основном повторяет региональную тенденцию. Содержание натрия в сборе лабазника близ п. Большая Галка Бакчарского района Томской области показывает максимальное содержание в постыдном периоде (1968 год), со снижением к современному периоду (2012 год), но здесь снижение не столь значительное, чем по региону (рисунок 4.34 б, г).

Мы предполагаем, что лабазник весьма чувствителен к любым изменениям содержаний элементов, которые могут быть связаны как с изменением режима увлажненности, например, действием климатических факторов, влиянием ландшафтно – геохимических особенностей территории и рядом других факторов, что затрудняет его использование в качестве объекта для реконструкции динамики изменения природной среды. Поскольку в этом случае, для интерпретации изменений элементного состава данного вида растения пришлось бы учитывать весьма значительное количество факторов.

Иная картина складывается при анализе изменений элементного состава кустарничковых растений - брусники и черники. Техногенез отражается на характере изменений элементов в составе данных видов, по – видимому, в связи с их более чем годичным циклом развития. Это вероятно приводит к концентрированию элементов, поступающих в большем количестве, чем имеющие место природные соединения. Это хорошо демонстрирует динамика накопления натрия (рисунок 4.32, 4.33).

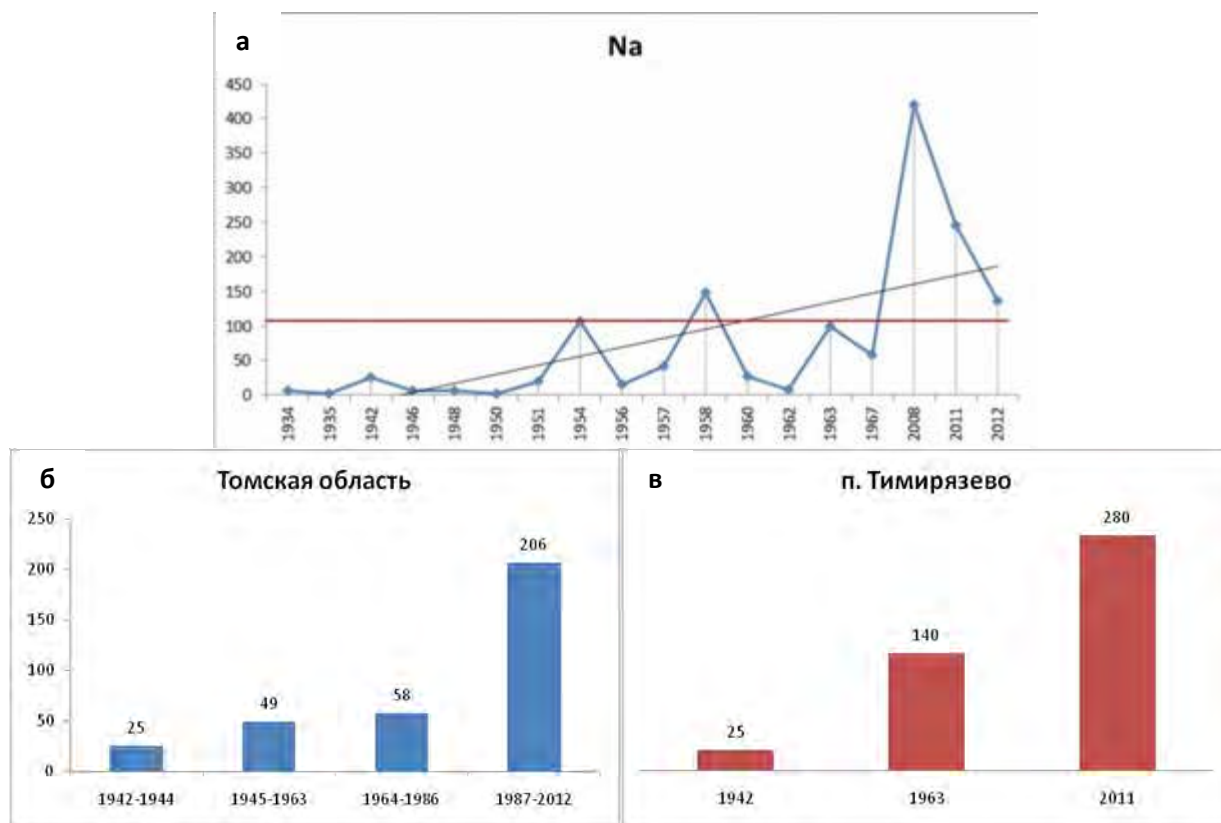


Рисунок 4.32 - Динамика содержания натрия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири
 а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область);
 — — — — — среднее содержание элемента; — — — — — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

В целом, установленные тенденции для растений юга Сибири, а так же отдельных регионов и локальных участков приведены в Приложении В, Г, Д. Суммарный вывод о

полученных результатах для 28 химических элементов приведен в таблице 4.18. Можно сказать, что 10 из изученных элементов имеют тенденцию к увеличению концентрации с годами во всех трех видах растений юга Сибири: Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au.

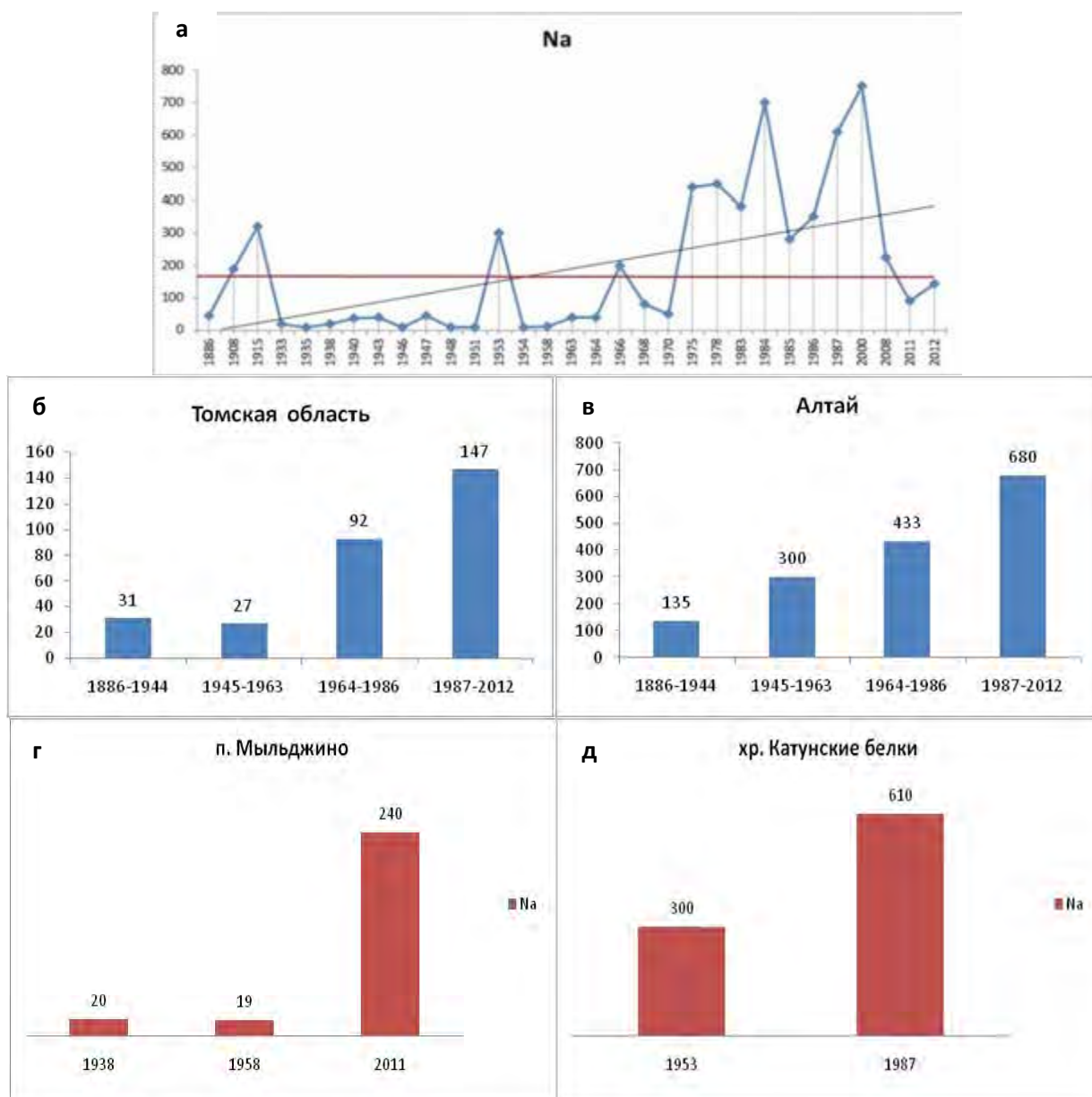


Рисунок 4.33 - Динамика содержания натрия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика содержания натрия в чернике по югу Сибири; б –Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Мыльджино (Томская область); д - хр. Катунские белки (Республика Алтай); — среднее содержание элемента; — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.



Рисунок 4.34 - Динамика содержания натрия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — — — — — среднее содержание элемента; — — — — — тенденция (тренд) содержания элемента во времени

Таблица 4.18 – Основные тенденции в динамике накопления элементов в составе черники, брусники и лабазника территории юга Сибири

Элемент/ тенденция			
Na	черника, брусника, лабазник		
Ca	черника, брусника, лабазник		
Sc	черника, брусника, лабазник		
Cr	черника, брусника		лабазник
Fe	черника, брусника		лабазник
Co	брусника	лабазник	черника
Zn	брусника, лабазник		черника
As	черника, брусника, лабазник		
Br	черника, брусника	лабазник	
Rb	брусника	черника	лабазник
Sr	черника, брусника, лабазник		
Ag		черника, брусника, лабазник	
Sb	брусника	лабазник	черника
Cs	брусника, лабазник		черника
Ba	брусника, лабазник		черника
La	черника, брусника, лабазник		
Ce	брусника, лабазник		черника
Nd	черника, лабазник	брусника	
Sm	черника, брусника, лабазник		
Eu	брусника, лабазник		черника
Tb	брусника, лабазник	черника	
Yb	черника, брусника, лабазник		
Lu	черника, брусника, лабазник		
Hf	черника, брусника, лабазник		
Ta	брусника, лабазник	черника	
Au	черника, брусника, лабазник		
Th	брусника, лабазник	черника	
U	черника, брусника	лабазник	

Примечание: красным выделены элементы положительная тенденция в динамике накопления которых установлена в трех видах изученных растений; синим – отрицательная.

Один элемент – Ag показывает динамику уменьшения содержания. Для лабазника и черники установлены элементы, не меняющие своего содержания со временем.

Следует так же отметить такие элементы, как хром, железо, рубидий, цинк, содержание которых увеличивается в бруснике и чернике и остается неизменным в лабазнике. Можно предположить, что данный вид специфично накапливает эти элементы и, возможно существует

своеобразный барьер для их концентрирования. Как мы уже отмечали ранее (глава 4.1) для лабазника характерно более высокое содержание железа и специфичное накопление хрома и цинка. Возможно, как мы уже говорили ранее, более целесообразно использование многолетних растений при построении исторических реконструкций изменения природных сред и элементного состава растений в частности.

Установленные общие тенденции для растений юга Сибири формируются под влиянием различных факторов. В том числе особенностей видовых характеристик растений. На этом фоне выделение определенных элементов является особо важным, поскольку это свидетельствует о значительных изменениях, происходящих в биосфере и ведущих к возрастанию их содержания. Следует особо сказать о группе редкоземельных элементов, добыча, производство и потребление которых кратно возросло к современному периоду в связи с развитием промышленности (Гавшин, 2003; Межибор, 2009; Рихванов, 2015 и др).

Тем не менее, на локальных участках, на территориях достаточно удаленных от мощных техногенных источников мы можем наблюдать значительное повышение содержания большинства изученных элементов, что может объясняться глобальными процессами металлизации биосферы (рисунок 4.35).

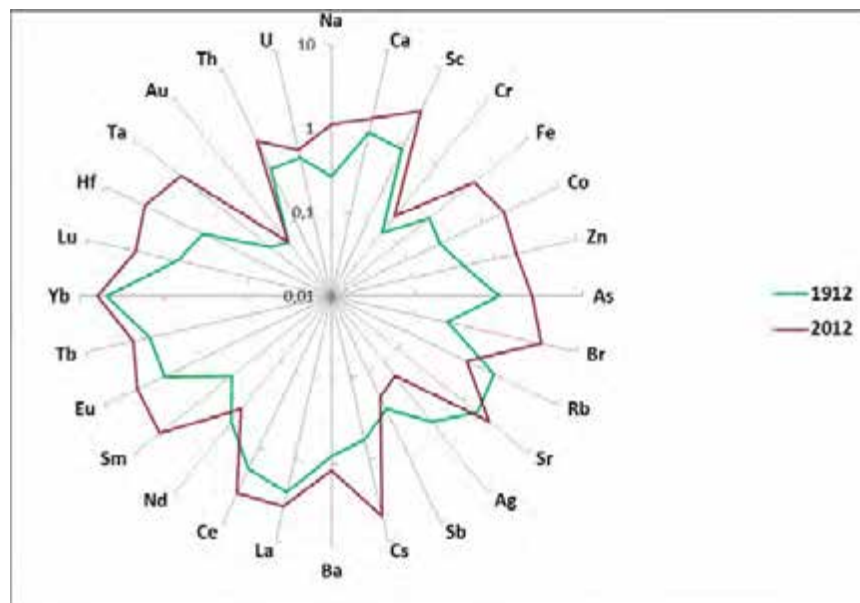


Рисунок 4.35 – Элементный состав лабазника вяза-лиственного г. Колпашево Томской области в 1912 и 2012 годах

Годом возникновения города Колпашево является 1938 (как деревня существует с начала XVII века), и изменение содержания химических элементов в составе растения демонстрирует влияние процесса урбанизации на формирование химизма природной среды и лабазника вяза-лиственного как компонента этой среды.

Таким образом, использование гербарного материала растений для проведения исторической реконструкции изменения природной среды за более чем вековой период времени антропогенной трансформации биосферы является надежным методом определения динамики поступления химических элементов в окружающую среду. Использование черники обыкновенной и брусники для проведения исторической реконструкции изменения природных сред предпочтительнее, чем использование однолетнего лабазника вязолистного ввиду особенностей его концентрирования определенных элементов и чрезвычайной зависимости от природно-климатических и ландшафтно-геохимических факторов среды.

Тем не менее, установлена тенденция к увеличению концентрации с годами во всех трех видах растений юга Сибири таких элементов как: Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au. Серебро показывает динамику уменьшения содержания. Причем, изменения фиксируются как на локальных территориях, так и в глобальном масштабе.

5 Историческая реконструкция изменения элементного состава растений на территории юга Сибири

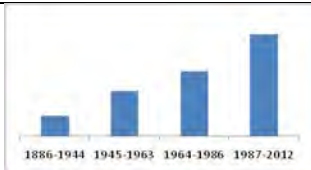
Материал, полученный в результате изучения элементного состава однолетних травянистых и многолетних кустарничковых лекарственных растений за 126-летний промежуток времени с 1886 по 2012 годы показал, что имеет место значимо различимое концентрирование определенных химических элементов на разных этапах развития биосферы.

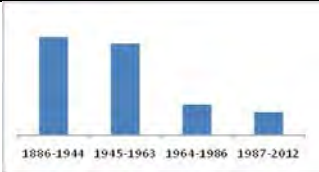
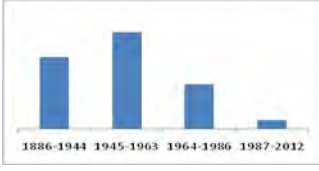
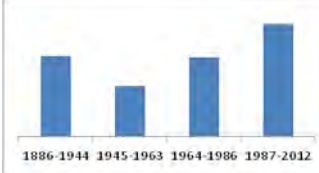
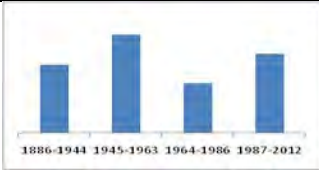
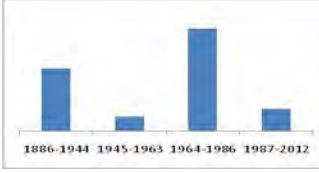
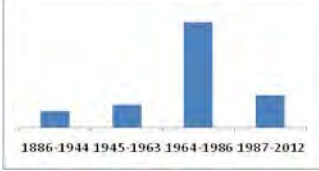
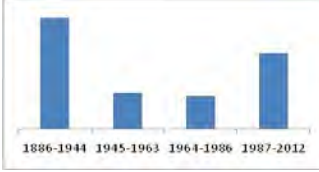
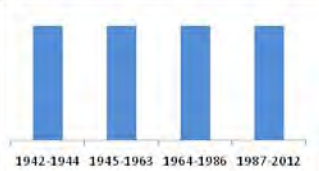
Геохимия каждого периода характеризуется своими особенностями химического состава сред, что и отражается в элементном составе растений. При этом, современный период разбит на 2 периода: с 1964 по 1986 гг. - постядерный период и с 1987 по 2012 гг. - современный период, поскольку имеет место различие в геоэкологическом состоянии биосферы. Это обусловлено тем, что в с 1964 по 1986 годы интенсивные ядерные испытания в атмосфере больше не проводились, за исключением серии атмосферных взрывов на полигоне Лобнор в 1967, 1969, 1970, 1973, 1974, 1976 и 1980 гг. (Булатов, 1993), а также тем, что в данный период времени выходили на полную мощность предприятия ядерно-топливного цикла (Горный химический комбинат (ГХК) (Красноярский край) и Сибирский химический комбинат (Томская область) и Чернобыльской катастрофой, произошедшей в данный временной интервал.

5.1 Динамика изменения элементного состава черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*)

Динамика содержаний элементов в чернике обыкновенной оценивалась по 49 пробам, которые отобраны на территории Алтайского края, Республики Алтай и Томской области. Оценена динамика содержаний 28 химических элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) с 1886 по 2012 годы. Элементы по своей динамике накопления в различных периодах развития биосферы можно разделить на несколько групп (таблица 5.1).

Таблица 5.1—Общие тенденции в динамике содержания элементов в чернике юга Сибири, Томской области и Республики Алтай

Тенденция	Элементы		
	Общий тренд по югу Сибири	Томская область	Республика Алтай
1. 	Na, Ca, Sc, Cr, Fe, As, Br, Sr, La, Nd, Sm, Yb, Lu, Hf, Au, U	Na, As, Br, Sr	Na, Sc, Fe, Ag, As, La, Nd, Eu, Tb, Lu, Hf, U

Тенденция	Элементы		
	Общий тренд по югу Сибири	Томская область	Республика Алтай
2. 	Rb, Ag, Tb, Ta, Th	Ag, Ta	
3. 		Rb, Tb, Th	Au
4. 		Ca, Cr, Ba, Lu	Cr, Co, Zn, Br, Sb, Ba, Ce, Sm
5. 		Fe, Cs	Ca, Rb, Sr
6. 		Sc, Zn, Sb, Nd, Au	Ta
7. 		Co, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Hf, U	Yb
8. 			Cs, Th
9. 	Co, Zn, Sb, Cs, Ba, Ce, Eu		

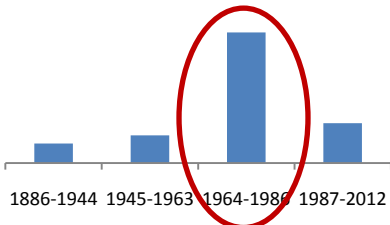
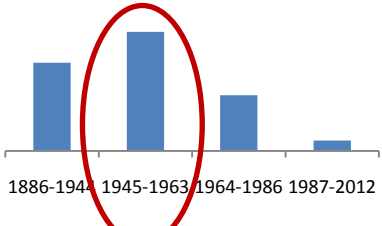
Тенденции изменения элементного состава черники различны. Если рассматривать общую тенденцию по чернике юга Сибири, то тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному прослеживается у таких элементов как Na, Ca, Sc, Cr, Fe, As, Br, Sr, La, Nd, Sm, Yb, Lu, Hf, Au, U (Приложение В).

Относительно постоянным на протяжении всего периода исследований остаются содержания Co, Zn, Sb, Cs, Ba, Ce, Eu (Приложение В). Уменьшается содержание Rb, Ag, Tb, Ta, Th в чернике юга Сибири на протяжении с 1886 по 2012 гг. (Приложение В).

Если рассматривать отдельные регионы, то четко видна разница в тенденциях накопления различных элементов по периодам в каждом регионе.

Так, в Томской области в ядерный период идет накопление Rb, Tb и Th в составе черники, а в постядерный период с 1964 по 1986 гг. в составе черники устойчиво идет увеличение содержания на несколько порядков таких элементов как Co, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Hf, U (Приложение В). Данный факт соотносится по времени с выходом на полную мощность с 1965 года всех производств Сибирского химического комбината (СХК) (Сибирский..., 2014). Согласно открытым данным с 1959 года по 1970 год на разных реакторах СХК произошло 24 значимых инцидента, в том числе с выносом радиоактивных веществ в окружающую среду (Сибирский..., 2014). Скандий, европий и золото также имеют пик высокого содержания в постядерном периоде, но их содержание также в некоторых пробах доядерного периода также существенно, что говорит не только о техногенном факторе обогащения растения, но также и о природном (таблица 5.2).

Таблица 5.2 - Тенденции в динамике накопления элементов в чернике Томской области

Тенденция	Элемент
	Sc, Co, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Hf, Au, U
	Rb

Стронций в составе черники Томской области имеет тенденцию к увеличению содержания от доядерного периода к современному, а цезий имеет максимальное накопление в растении в ядерном периоде (Приложение В).

Торий в составе черники Томской области во всех периодах, кроме современного, имеет достаточно устойчивый постоянный уровень содержания, но в ядерном периоде его содержание

несколько увеличивается, что может служить индикатором дополнительной эмиссии тория в окружающую среду.

Данные тенденции наиболее ярко проявляются при анализе растений с локальных участков Томской области.

Так, в чернике п. Головино в 2012 году по сравнению с 1886 годом увеличилось содержание Ca, Cr, As, Br, Sr, Ag, Sb, Cs, элементов группы лантаноидов, Au, U. Снижается содержание Sc, Zn и Rb (рисунок 5.1).

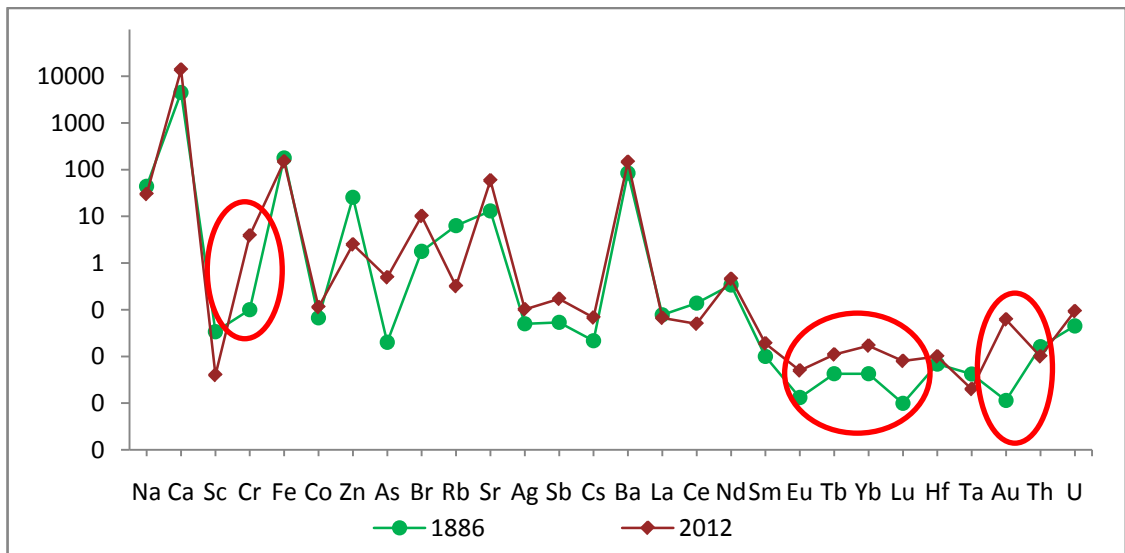


Рисунок 5.1 – Изменение содержания химических элементов в чернике (*Vaccinium myrtillus*) п. Головино Томской области в 2012г. относительно 1886г.

В чернике пос. Самусь в 2011 году снижается по сравнению с 1964 годом содержание Cr, Co, Zn, Rb, Ag, Sb, большинства элементов группы лантаноидов, резко золота, тория и урана (рисунок 5.2).

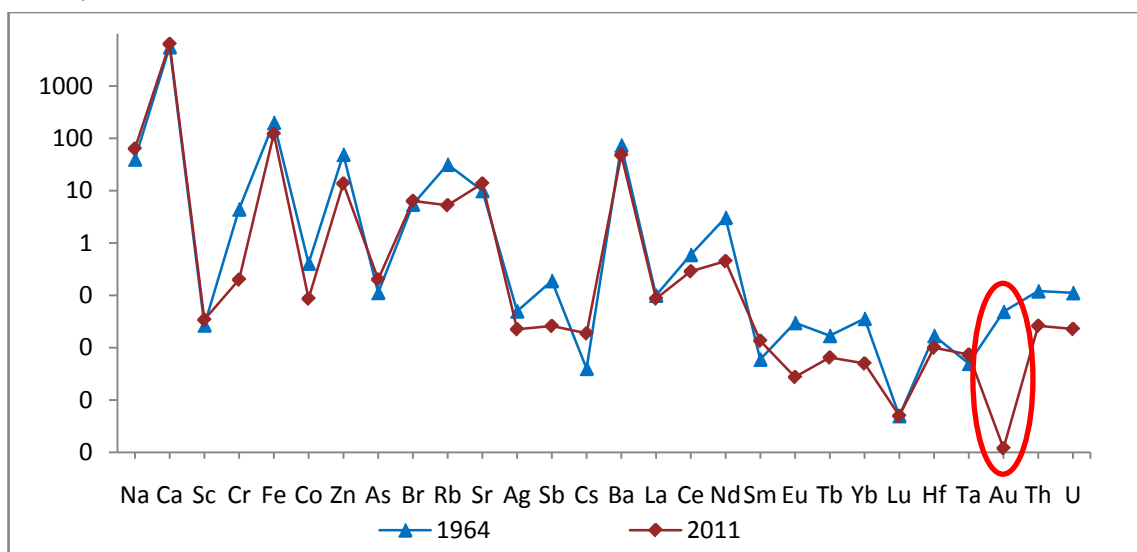


Рисунок 5.2 – Изменение содержания химических элементов в чернике (*Vaccinium myrtillus*) п. Самусь Томской области в 2012 г. относительно 1964 г.

В чернике п. Мыльджино в 2011 году относительно 1938 года увеличивается содержание Na, Cr, Fe, Br, Sb, Hf, Au, U. Снижается содержание Ag, Cs, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Lu, Ta, Th (рисунок 5.3).

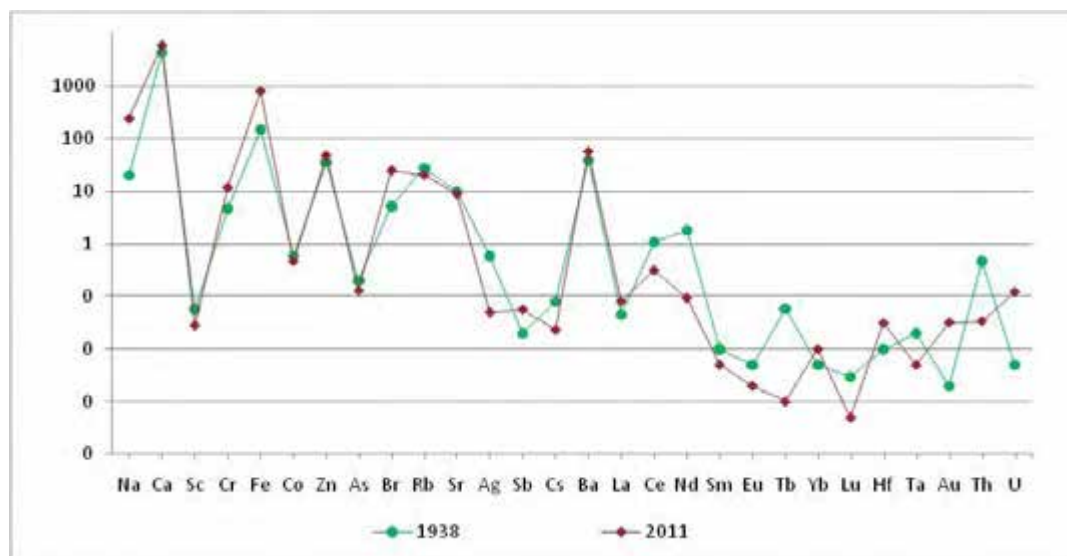


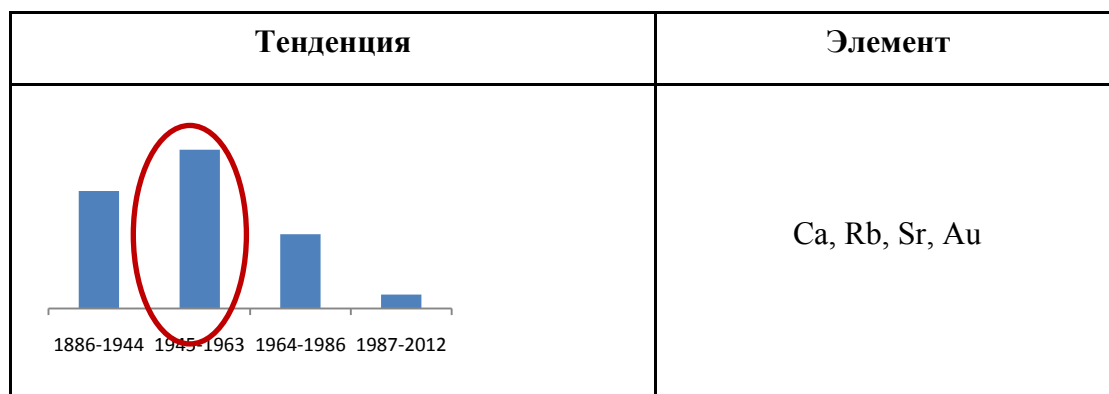
Рисунок 5.3 - Изменение содержания химических элементов в чернике (*Vaccinium myrtillus*) п. Мыльджино Томской области в 2011 г. относительно 1938 г.

Данные изменения содержания элементов в составе чернике обусловлены как техногенными, так и природными факторами. Так, в п. Самусь и п. Головино высокое содержание в постядерный период времени элементов группы лантаноидов, золота, урана обусловлено на наш взгляд техногенным фактором и связано с деятельностью СХК. В п. Мыльджино высокие содержания серебра, элементов группы лантаноидов, тория приурочены к доядерному периоду и вполне вероятно имеют природный характер.

Иные тенденции в накоплении элементов по временным периодам наблюдаются в чернике Республики Алтай (таблица 5.3).

Таблица 5.3 - Тенденции в динамике накопления элементов в чернике Республики Алтай

Тенденция	Элемент
1886-1944 1945-1963 1964-1986 1987-2011	Na, Sc, Fe, Ag, As, La, Nd, Eu, Tb, Lu, Hf, U



Устойчиво накапливаются от доядерного к современному периоду Na, Sc, Fe, Ag, As, La, Nd, Eu, Tb, Lu, Hf, U. Стронций, золото, кальций и рубидий имеют пик содержания в ядерном периоде, что вероятнее всего отражает влияние на территорию Республики испытания ядерных устройств на Семипалатинском испытательном полигоне, а также Усть-Каменогорский промышленный узел (приложение В).

Обращает на себя внимание, что величины отношений Th/U и La /Yb в течение времени существенно изменяются (таблица 5.4). В составе черники Томской области величины Th/U отношения изменяются от 4,0 в доядерном периоде до 0,2 в современном. В ядерный период величина отношения максимальна и составляет 7,3, что говорит о максимальном накоплении тория в чернике в этот период, а в современном периоде происходит высокое накопление урана.

Таблица 5.4 - Величины Th/U и La /Yb отношений в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) Томской области и Республики Алтай

Периоды	Томская область		Республика Алтай	
	Th/U	La /Yb	Th/U	La /Yb
доядерный	4,0	10,6	2,30	6,0
ядерный	7,3	11,0	10,75	3,6
постядерный	0,8	5,7	0,07	13,5
современный	0,2	6,8	0,19	44,3

В отношении La /Yb также происходят значительные изменения с течением времени (таблица 5.4). Здесь максимальное значение отношения также фиксируется в ядерный период, что говорит о высоком обогащении черники легкими лантаноидами. В последующие периоды отношение La /Yb уменьшается практически в два раза, что указывает на обогащение растения тяжелыми лантаноидами в эти периоды времени.

Величина Th/U отношения в чернике Республики Алтай имеет высокое значение именно в ядерный период времени, т.е. идет обогащение растения в большей степени торием. В дальнейшем в постядерный и современный периоды происходит резкое уменьшение величины Th/U отношения, черника обогащается в большей степени ураном. Величина La /Yb отношения

в чернике Республики Алтай изменяется в широких пределах от 6,0 в доядерном периоде к 44,3 в современном периоде, что является индикатором эмиссии легких лантаноидов в состав черники. Стоит отметить, что в ядерном периоде фиксируется некоторое снижение величины отношения La/Yb , связанное с увеличением содержания тяжелых лантаноидов в чернике.

По величинам соотношений Th/U и La/Yb в составе черники во всех рассмотренных регионах происходит резкая смена геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом.

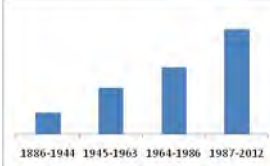
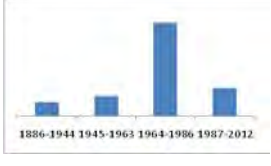
Таким образом, тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному в составе черники юга Сибири имеют такие элементы как $Na, Ca, Sc, Cr, Fe, As, Br, Sr, La, Nd, Sm, Yb, Lu, Hf, Au, U$. Уменьшение содержание во времени характерно для элементов Rb, Ag, Tb, Ta, Th . Региональные тенденции по Томской области характеризуются увеличением содержания $Sc, Co, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Hf, Au, U$ в составе черники с 1964 по 1986 гг., что обусловлено на наш взгляд техногенным фактором. Региональные тенденции по Республике Алтай характеризуются увеличением содержания Ca, Rb, Sr, Au в составе черники в ядерный период времени, а $Na, Sc, Fe, Ag, As, La, Nd, Eu, Tb, Lu, Hf, U$ имеют максимум своего содержания в чернике сборов 1987 – 2012 гг.

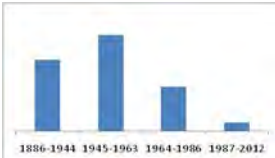
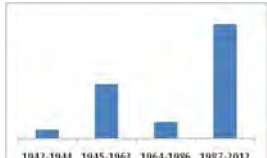
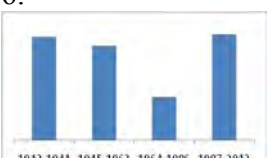
Также, необходимо отметить, что по величинам соотношений элементов Th/U и La/Yb фиксируется резкая смена геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом времени.

5.2 Динамика изменения элементного состава брусники (*Vaccinium vitis-idaea*)

Динамика накопления химических элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири установлена на основании анализа 28 проб гербарного и современного материала и имеет различные тенденции (таблица 5.5).

Таблица 5.5 - Общие тенденции в динамике содержания элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири и Томской области

Тенденция	Элементы		Тенденция	Элементы	
	Юг Сибири	Томская область		Юг Сибири	Томская область
1. 	$Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U$	Na	4. 		Sb, Cs, Hf

2. 	Ag, Nd	Nd, Tb, Ta	5. 	Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Lu, Au, U
3. 		Rb, Sr, Ag, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Ta, Th	6. 	Ca, As, Br

Если рассматривать общую тенденцию содержания элементов в составе брусники во временных интервалах, то тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному прослеживается у таких элементов как Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U. Обратный тренд в динамике накопления элементов в бруснике характерен для Ag и Nd (Приложение Г).

В связи с представительностью проб гербарного и современного материала брусники только по Томской области региональная динамика проанализирована только по одному региону.

В составе брусники Томской области с максимумом в ядерном периоде фиксируются такие элементы как Rb, Sr, Ag, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Ta, Th. С максимумом в современном периоде отмечаются такие элементы как Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Lu, Au, U (Приложение Г).

Сурьма, цезий и гафний имеют максимум своего содержания в бруснике Томской области в постядерный период (Приложение Г).

Данные тенденции наиболее ярко проявляются при анализе растений с локальных участков Томской области.

Так, по составу брусники п. Тимирязево можно проследить динамику изменения ее состава: Cr, Fe, Co, Zn, Ag, Ce, Au увеличивают свои содержания в растении планомерно с 1942 по 2011 гг. Эмиссия Na, As, Br, Sb происходит в период с 1960 по 2011 гг., а Sc, Cs, La, Sm, Tb, Yb, Hf, Th с 1942 по 1960 гг. Обращает на себя внимание факт резкого увеличения содержания золота в бруснике с 1960 по 2011 гг. (рисунок 5.4).

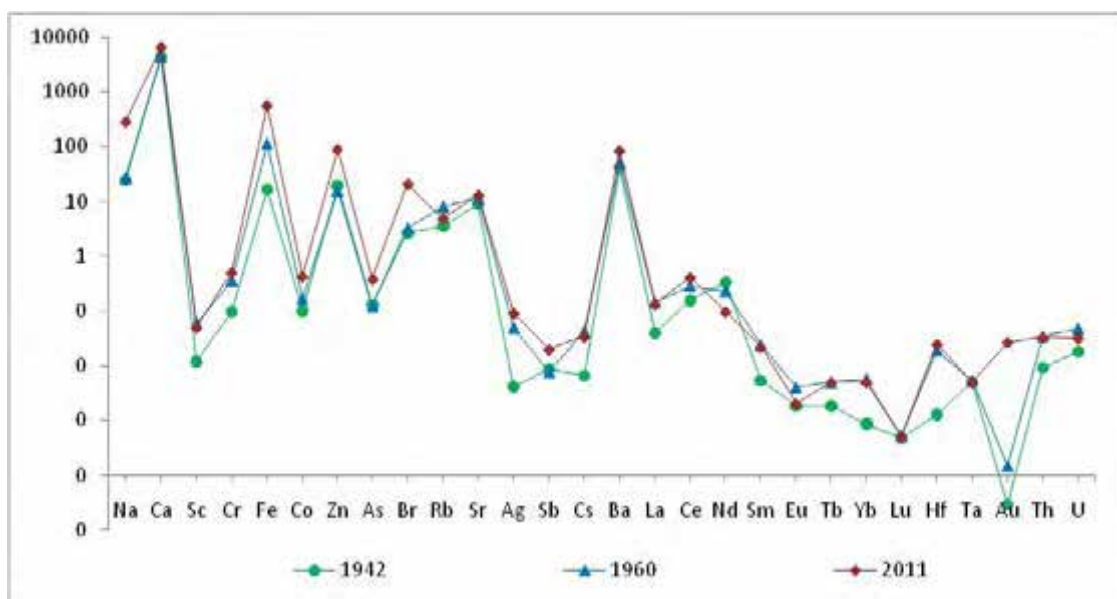


Рисунок 5.4 - Изменение содержания химических элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) п. Тимирязево Томской области с 1942 по 2011гг.

В бруснике с. Минаевка (Асиновский район) в 2012 году увеличивается по сравнению с 1948 годом содержание Na, Cr, Fe, Co, As, Sb, Br, Cs, Ba, Ce, Sm, Lu, Ta. Снижается содержание Zn, Ag, Cs, Ba, Eu, Hf (рисунок 5.5).

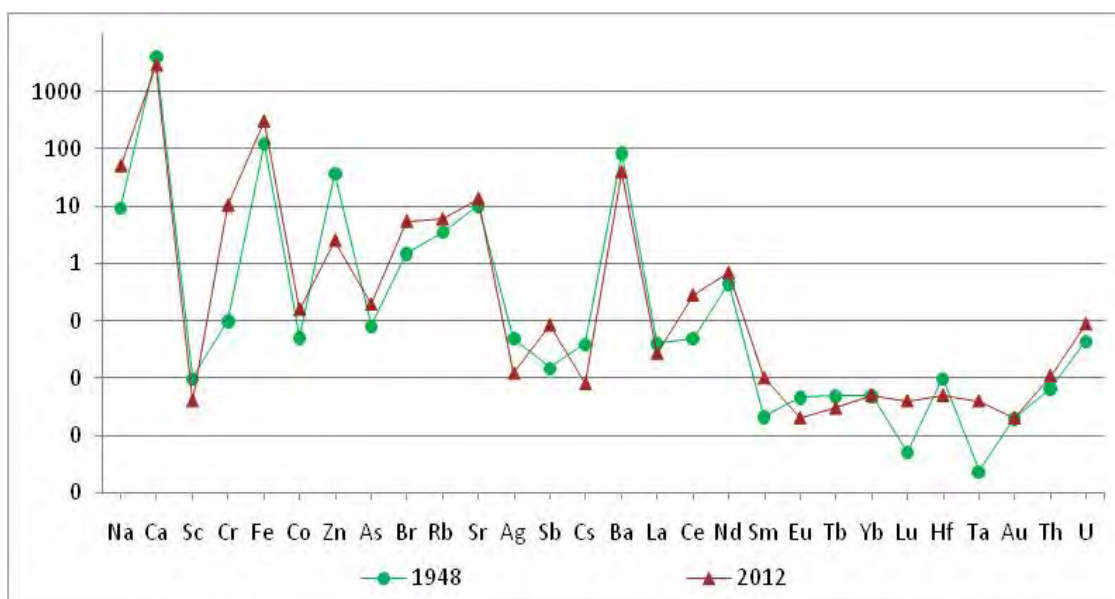


Рисунок 5.5 - Изменение содержания химических элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) с. Минаевка Томской области в 2012г. относительно 1948г.

В бруснике п. Мыльджино в 2011 году относительно 1958 года увеличивается содержание Na, Sc, Zn, Br, Au. Снижается содержание Cr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U (рисунок 5.6).

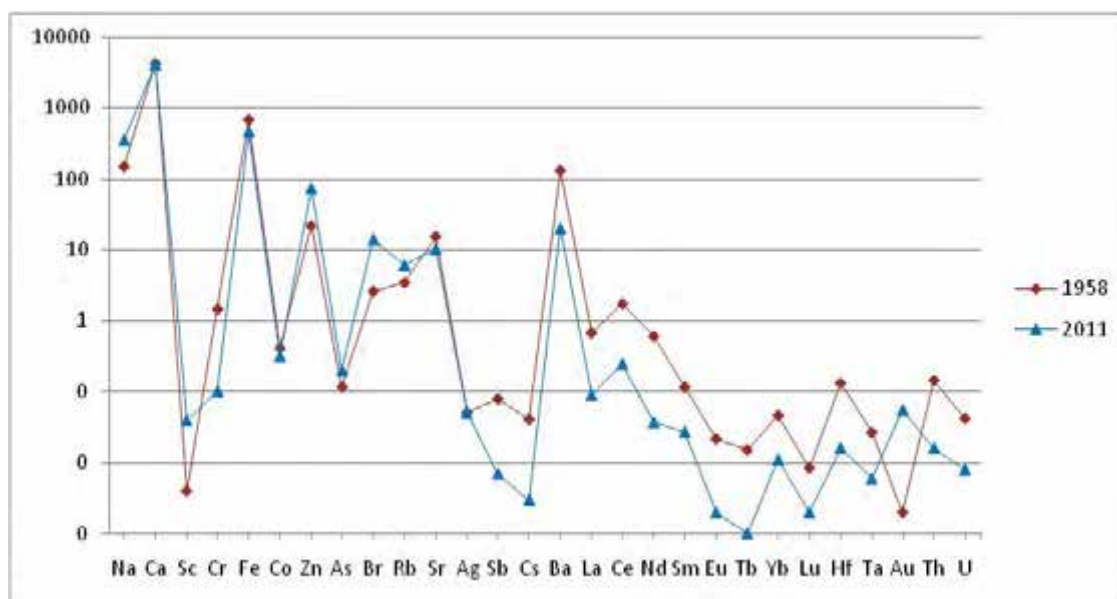


Рисунок 5.6 - Изменение содержания химических элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) п. Мыльджино Томской области в 2011г. относительно 1958г.

Данные изменения состава брусники носят весьма сложный характер, они обусловлены взаимодействием как природных, так и техногенных факторов, а также видовыми особенностями растения.

По динамике изменения величин отношений Th/U и La /Yb в бруснике Томской области (таблица 5.6) можно отметить постепенное увеличение количества тория в составе брусники к постядерному периоду с последующим увеличением количества урана в растении в постядерный период. В доядерный период в составе черники Томской области отмечается высокое содержание легких лантаноидов, с последующим резким их уменьшением. В постядерный период времени в составе брусники высоко содержание тяжелых лантаноидов.

Таким образом, по динамике изменения величин отношений Th/U и La /Yb в составе брусники Томской области можно установить резкую смену геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом.

Таблица 5.6 - Величины Th/U и La /Yb отношений в бруснике(*Vaccinium vitis-idaea*) Томской области

Периоды	Томская область	
	Th/U	La/Yb
доядерный	0,5	46
ядерный	0,9	16
постядерный	1,7	8
современный	0,4	14

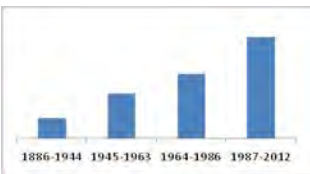
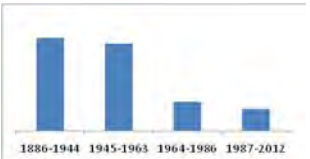
Таким образом, тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному в составе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири имеют следующие элементы: Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U. Уменьшение содержания во времени характерно для элементов Ag, Nd. Региональные тенденции по Томской области характеризуются высокими содержаниями Rb, Sr, Ag, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Ta, Th, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Lu, Au, U в составе брусники в ядерный и современный периоды времени. Уменьшение содержания во времени в бруснике Томской области характерно для Nd, Tb, Ta. С 1964 по 1986 гг. повышенные содержания в составе брусники характерны для Sb, Cs, Hf.

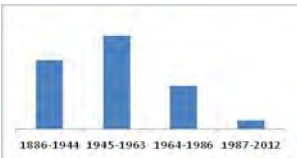
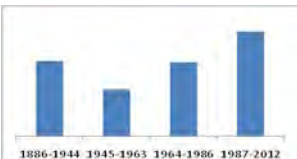
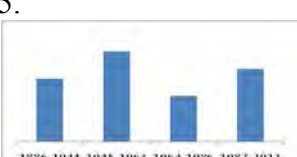
Также, необходимо отметить, что по величинам соотношений Th/U и La /Yb фиксируется резкая смена геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом.

5.3 Динамика изменения элементного состава лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim)

Динамика накопления химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири установлена на основании анализа 121 пробы гербарного и современного материала (с 1901 по 2012 гг.) и имеет различные тенденции (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Общие тенденции в динамике содержания элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири и некоторых регионов

Тенденция	Элементы				
	Общий тренд по югу Сибири	Томская область	Республика Алтай и Алтайский край	Новосибирская область	Центральная часть Республики Хакасия
1. 	Na, Ca, Sc, Zn, As, Sr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th		Sc, Fe, Sb, Cs, Nd, Sm, Tb, Lu, Th	Na, Ca, Cr, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Au, Th, U	Na, Sc, Cr, Fe, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Tb, Hf, Th
2. 	Co, Br, Ag, Sb, U	Sb	Zn, Rb, Eu, Ta, U	Co, Zn, Ag, Ta	Ag

Тенденция	Элементы				
	Общий тренд по югу Сибири	Томская область	Республика Алтай и Алтай- ский край	Новоси- бирская область	Центральная часть Республики Хакасия
3. 		Lu	Na, Hf		Ca
4. 		Sr, Ba	Ca, La, Ce, Yb, Au		As
5. 		Rb, Cs, Ta	Ba	Sc, Fe, Rb	Co
6. 		La, Ce	Co, As, Br	As, Ce	
7. 		Na, Ce, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Nd, Sm, Eu, Hf, Au, Th, U		Br, Tb	Zn, Rb, Yb, Au
8. 		Yb	Ag		Br, Ce, Sm, Lu, Ta, U
9. 	Cr, Fe, Rb	Ag, Tb	Cr, Sr		

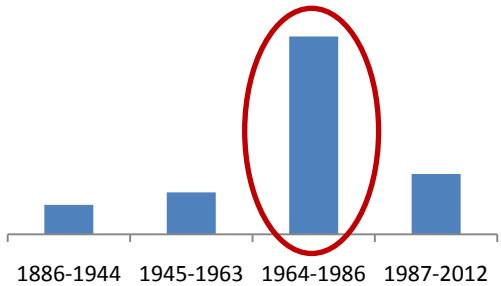
Тенденции изменения элементного состава лабазника различны. Если рассматривать общую тенденцию по лабазнику юга Сибири, то тренд увеличения содержания от доядерного

периода к современному прослеживается у таких элементов как Na, Ca, Sc, Zn, As, Sr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th. Относительно постоянным на протяжении всего периода исследований остаются содержания Cr, Fe. Уменьшается содержание Co, Br, Ag, Sb, U в лабазнике юга Сибири на протяжении с 1901 по 2012 гг (Приложение Д).

Если рассматривать отдельные регионы, то четко видна разница в тенденциях накопления различных элементов по периодам в каждом регионе.

Так, в Томской области в ядерный период идет накопление Lu и снижается содержание Sr и Ba в составе лабазника. Содержание серебра и тербия остается достаточно постоянным с течением времени. В доядерном периоде высоко содержание Yb, La, Ce. В постядерный период с 1964 по 1986 гг. в составе лабазника устойчиво идет увеличение содержания на несколько порядков таких элементов как Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Nd, Sm, Eu, Hf, Au, Th, U (Приложение Д) (таблица 5.8). Данный факт соотносится по времени с выходом на полную мощность с 1965 года всех производств Сибирского химического комбината (Сибирский..., 2014). Согласно открытым данным с 1959 года по 1970 год на разных реакторах СХК произошло 24 значимых инцидента, в том числе с выносом радиоактивных веществ в окружающую среду (Сибирский..., 2014).

Таблица 5.8 -Тенденция накопления элементов в лабазнике Томской области в постядерном периоде времени

Тенденция	Элемент
 1886-1944 1945-1963 1964-1986 1987-2012	Na, Ce, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Nd, Sm, Eu, Hf, Au, Th, U

Процесс концентрирования таких элементов как хром, железо, уран, хорошо просматривается на графиках изменений отношений данных элементов (рисунок 5.7, 5.8).

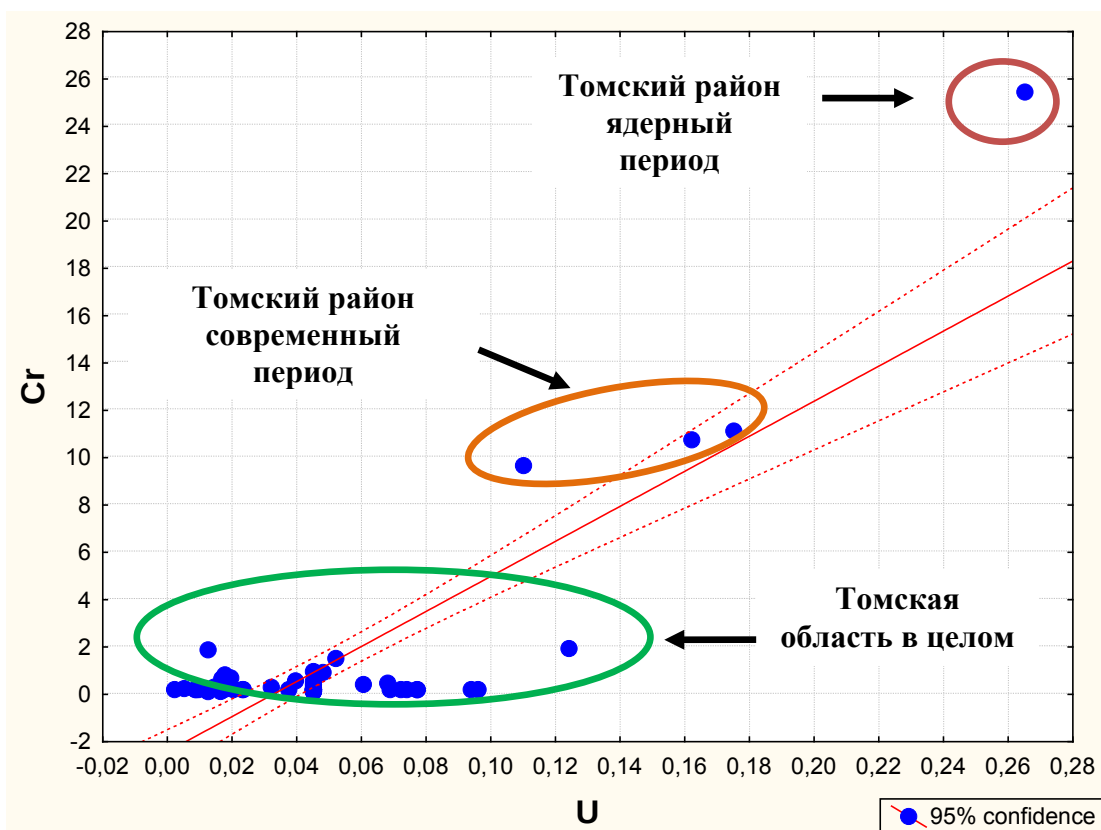


Рисунок 5.7 – Изменение отношения химических элементов U и Cr в лабазнике (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) в разных временных периодах на территории районов Томской области

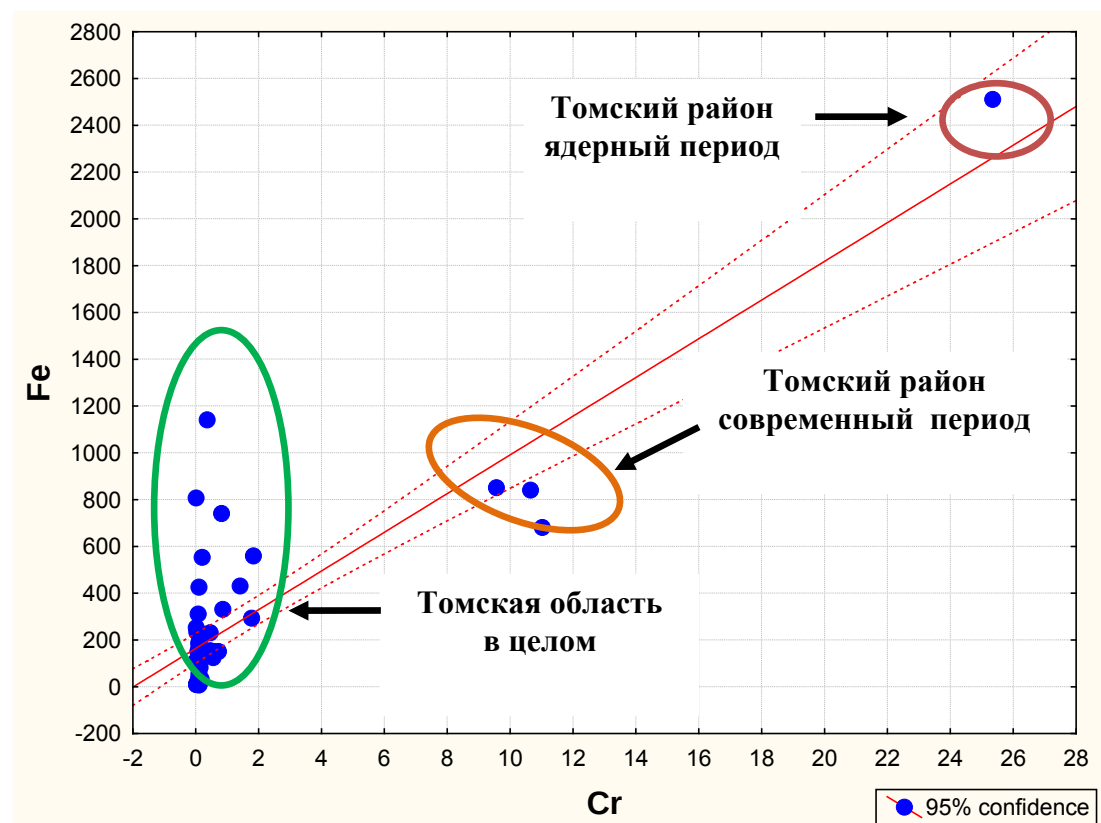


Рисунок 5.8 – Изменение отношения химических элементов Fe и Cr в лабазнике (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) в разных временных периодах на территории районов Томской области

Данные тенденции наиболее ярко проявляются при анализе образцов растений с локальных участков Томской области.

Так, в лабазнике города Колпашево в 2012 году по сравнению с 1912 годом увеличилось содержание Br и Ta. Содержание Sc, Cs, La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Th, U в 1957 году снижается относительно показателей 1912 года, но к 2012 году возрастает и превышает как 1957, так и 1912 год. Снижается содержание Rb и Ag. Содержание золота в лабазнике г. Колпашево постоянно на протяжении исследованного промежутка времени (рисунок 5.9).

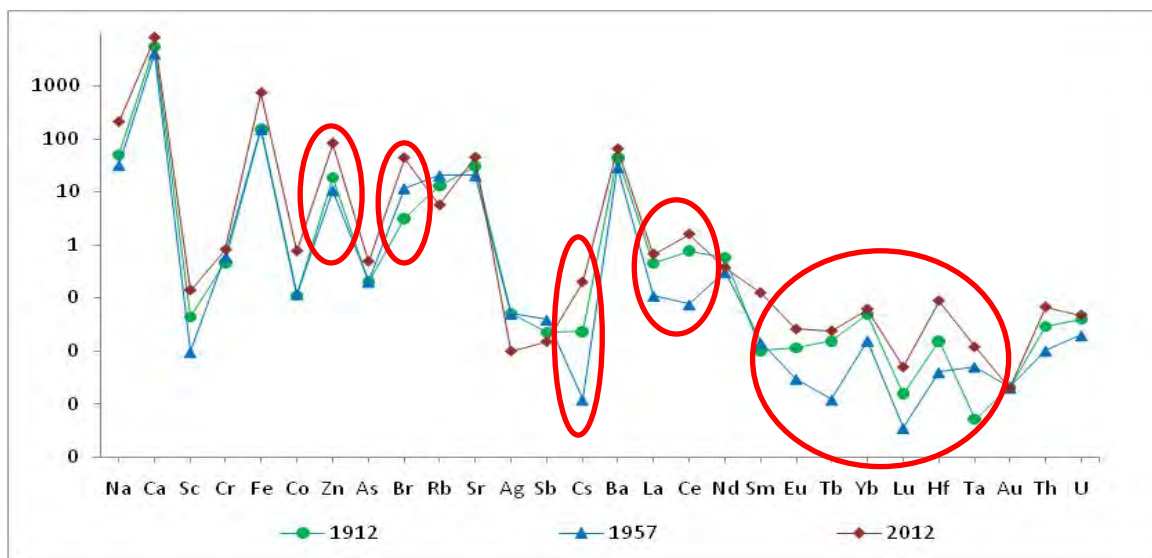


Рисунок 5.9 – Изменение содержания химических элементов в лабазнике (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) г. Колпашево Томской области в 1912г., 1957г. и в 2012г.

В лабазнике д. Большая Галка Бакcharского района в 2012 году увеличивается по сравнению с 1950 годом содержание Na, Sc, Cr, Fe, Co, Cs элементов группы лантаноидов (кроме Lu), Th, U. Содержание золота увеличивается в 1968 году, а в 2012 г. снижается к уровню 1950 года (рисунок 5.8).

Данные изменения содержания элементов в составе лабазника обусловлены как техногенными, так и природными факторами. Так, и в г. Колпашево и в д. Большая Галка увеличивается содержание цезия в составе лабазника к 2012 году. Содержание элементов группы лантаноидов увеличивается в период с 1950 по 1968 гг. и связано на наш взгляд с техногенным фактором. В г. Колпашево в составе лабазника снижается содержание многих элементов в растениях с 1912 по 1957 гг.

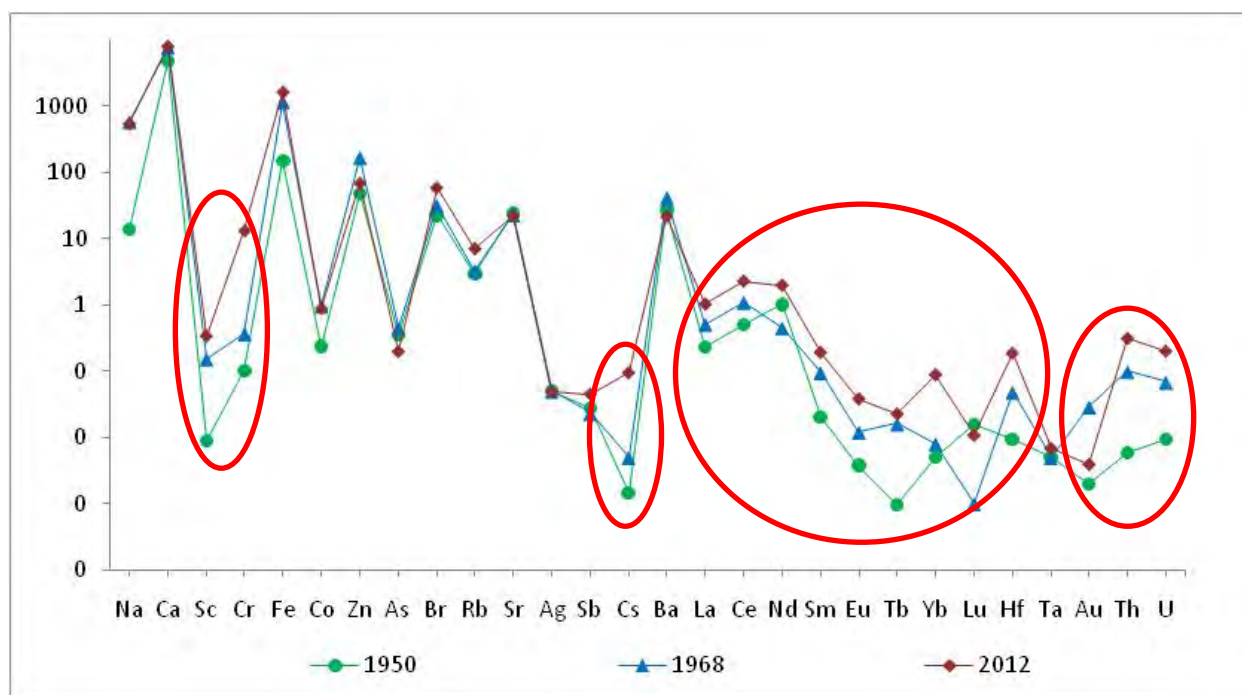
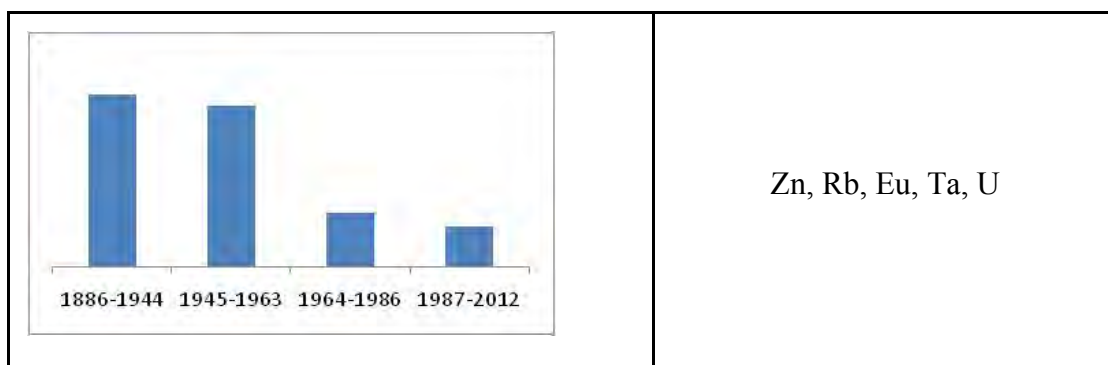


Рисунок 5.10 – Изменение содержания химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) д. Большая Галка Бакчарского района Томской области

Иные тенденции в накоплении элементов по временным периодам наблюдаются в чернике Республики Алтай. Здесь устойчиво накапливаются от доядерного к современному периоду Sc, Fe, Sb, Cs, Nd, Sm, Tb, Lu, Th (таблица 5.9). С некоторым снижением содержания в ядерном периоде, но также с тенденцией к накоплению к современному периоду увеличивают содержание Ca, La, Ce, Yb, Au. Такие элементы как Zn, Rb, Eu, Ta, U имеют тенденцию уменьшения содержания от доядерного к современному периоду. Натрий и гафний имеют пик содержания в ядерном периоде времени. Содержание хрома и стронция остается постоянным на протяжении исследованного временного интервала (Приложение Д).

Таблица 5.9 – Тенденции накопления химических элементов в лабазнике вязолистном Республики Алтай

Тенденция	Элемент
	Sc, Fe, Sb, Cs, Nd, Sm, Tb, Lu, Th, Ca, La, Ce, Yb, Au



В лабазнике Новосибирской области от доядерного к современному периоду накапливаются Na, Ca, Cr, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Au, Th, U. Обратная тенденция содержания элементов в лабазнике характерна для Co, Zn, Ag, Ta. Пик содержаний в постядерном периоде отмечен у As, Ce, Br, Tb (Приложение Д).

В лабазнике центральной части Республики Хакасия тенденцию к увеличению содержания от доядерного периода к современному периоду имеют такие элементы как Na, Sc, Cr, Fe, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Tb, Hf, Th. Обратная тенденция характерна для серебра. Высокое содержание в доядерном периоде отмечается для Br, Ce, Sm, Lu, Ta, U (Приложение Д).

В целом, тенденции некоторых элементов (рисунок 5.11) демонстрируют процессы изменения техногенеза биосферы и отражают реакцию на различные события, повлиявшие на глобальные процессы изменения геохимии окружающей среды.

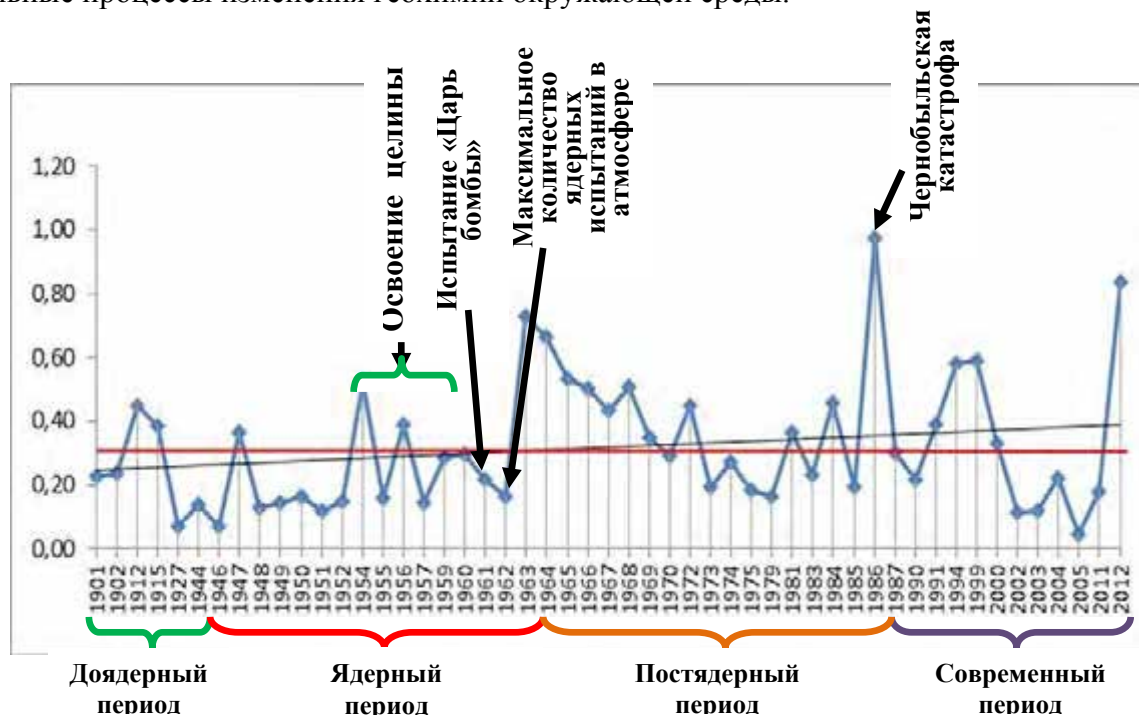


Рисунок 5.11 – Изменение содержания химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filippendula Ulmaria* (L) Maxim) в период с 1901 по 2012 годы

Обращает на себя внимание, что величины отношений Th/U и La /Yb в течение времени существенно изменяются (таблица 5.10). В составе лабазника вязолистного (Filipendula Ulmaria (L) Maxim) Томской области величины Th/U отношения изменяются от 0,3 в доядерном периоде до 0,9 в современном. В современном периоде величина отношения максимальна и составляет 0,9, что говорит об уменьшении содержания урана в растении.

Таблица 5.10 - Величины Th/U и La /Yb отношений в лабазнике вязолистном (Filipendula Ulmaria (L) Maxim) по некоторым регионам юга Сибири

Периоды	Томская область		Алтайский край и Республика Алтай		Новосибирская область		Центральная часть Республики Хакасия	
	Th/U	La /Yb	Th/U	La /Yb	Th/U	La /Yb	Th/U	La /Yb
доядерный	0,3	10	0,3	13	-	-	0,1	27
ядерный	0,7	10	0,4	13	0,7	13	-	-
постядерный	0,4	23	0,8	12	0,7	13	0,3	3
современный	0,9	13	-	-	0,8	9	0,4	15

Величина показателя La /Yb отношения также изменяется с течением времени. Здесь максимальное значение отношения фиксируется в постядерный период, что говорит о высоком обогащении лабазника легкими лантаноидами (таблица 5.10).

Величина Th/U отношения в лабазнике Республики Алтай и Алтайского края меняется постепенно от доядерного периода к постядерному. Идет обогащение лабазника в большей степени торием. La /Yb отношение здесь меняется незначительно.

В составе лабазника вязолистного Новосибирской области величина Th/U и La /Yb отношения изменяются незначительно (таблица 5.10).

В центральной части Республики Хакасия величина Th/U отношения увеличивается от доядерного к современному периоду, лабазник обогащается торием. La /Yb отношение варьирует в широких пределах, в доядерном периоде его значение максимально, растения в большей степени обогащены легкими лантаноидами (таблица 5.10).

Таким образом, тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному в составе лабазника вязолистного юга Сибири имеют такие элементы как Na, Ca, Sc, Zn, As, Sr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th. Уменьшение содержание во времени характерно для элементов Co, Br, Ag, Sb, U. Относительно постоянными с течением времени остаются содержания Cr, Fe, Rb.

Региональные тенденции по Томской области характеризуются увеличением содержания Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Nd, Sm, Eu, La, Ce, Hf, Au, Th, U в составе

лабазника с 1964 по 1986 гг., что обусловлено на наш взгляд запуском производств предприятия ядерно-топливного цикла.

Региональные тенденции по Республике Алтай характеризуются увеличением содержания Sc, Fe, Sb, Cs, Nd, Sm, Tb, Lu, Th в составе лабазника от доядерного периода к современному, а Zn, Rb, Eu, Ta, U имеют обратную тенденцию. Содержание хрома и стронция не изменяется во временном ряду.

Для лабазника Новосибирской области тенденция увеличения содержания от доядерного периода к современному характерна для Na, Ca, Cr, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Au, Th, U. Обратная тенденция отмечена у Co, Zn, Ag, Ta.

Лабазник центральной части Республики Хакасия накапливает в своем составе от доядерного периода к современному Na, Sc, Cr, Fe, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Tb, Hf, Th. В постядерном периоде высоко содержание Zn, Rb, Yb, Au. Низкое содержание в ядерном и постядерном периоде характерно для Br, Ce, Sm, Lu, Ta, U.

Также, необходимо отметить, что по величинам отношений Th/U и La /Yb в лабазнике Томской области фиксируется уменьшение содержания урана во временном ряду и обогащение лабазника легкими лантаноидами в постядерном периоде. Лабазник всех исследованных областей в исследованном интервале времени постепенно обогащается торием (содержание урана в растении уменьшается).

5.4 Тенденции изменения элементного состава растений юга Сибири в условиях ядерного техногенеза

Обобщенные данные по содержанию химических элементов в изученных видах растений юга Сибири позволил установить специфику накопления химических элементов в разные периоды времени. Установлено, что тенденцию к накоплению к современному периоду имеют такие элементы как Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au, Al*, Ti*, Zr*, Cd*, W* (таблица 5.11). Это свидетельствует о том, что в результате развития техногенеза идет процесс металлизации биосферы.

Развитие ядерного техногенеза характеризуется концентрированием в ядерный период с 1945 по 1963 гг. в изученных видах растений Co, Be*, V*, Ni*, Dy*, Tm*, Tl*, Pb*.

Таблица 5.11 - Среднее содержание химических элементов в трех видах растений (черника, брусника, лабазник) территории юга Сибири по временным периодам, мг/кг сухого вещества

Среднее содержание $\pm$ ошибка среднего,			
Элемент	Доядерный период (до 1944 г.) (N=20)	Ядерный период (1945 – 1963 гг.) (N=58)	Современный период (1964 – 2012 гг.) (N=124)
Na	117 $\pm$ 33	200 $\pm$ 28	267 $\pm$ 20
Ca	5002 $\pm$ 445	5718 $\pm$ 474	6684 $\pm$ 315
Sc	0,028 $\pm$ 0,008	0,057 $\pm$ 0,009	0,071 $\pm$ 0,007
Cr	4,2 $\pm$ 1,8	7,2 $\pm$ 1,7	7,0 $\pm$ 0,8
Fe	328 $\pm$ 120	725 $\pm$ 119	679 $\pm$ 60
Co	0,51 $\pm$ 0,14	0,62 $\pm$ 0,09	0,48 $\pm$ 0,04
Zn	43,4 $\pm$ 10,5	45,9 $\pm$ 5,3	55,9 $\pm$ 3,9
As	0,19 $\pm$ 0,04	0,21 $\pm$ 0,02	0,30 $\pm$ 0,02
Br	11,4 $\pm$ 4,9	14,4 $\pm$ 3,1	14,7 $\pm$ 1,4
Rb	9,9 $\pm$ 2,1	10,9 $\pm$ 1,4	8,6 $\pm$ 0,7
Sr	15,0 $\pm$ 2,2	21,1 $\pm$ 2,2	27,9 $\pm$ 2,2
Ag	0,08 $\pm$ 0,03	0,08 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,002
Sb	0,08 $\pm$ 0,02	0,09 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01
Cs	0,04 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,003
Ba	51,9 $\pm$ 5,1	48,4 $\pm$ 5,2	52,5 $\pm$ 3,1
La	0,104 $\pm$ 0,028	0,196 $\pm$ 0,028	0,244 $\pm$ 0,021
Ce	0,368 $\pm$ 0,077	0,434 $\pm$ 0,064	0,522 $\pm$ 0,051
Nd	0,628 $\pm$ 0,114	0,759 $\pm$ 0,116	0,773 $\pm$ 0,063
Sm	0,015 $\pm$ 0,004	0,031 $\pm$ 0,005	0,041 $\pm$ 0,004
Eu	0,008 $\pm$ 0,002	0,007 $\pm$ 0,001	0,007 $\pm$ 0,001
Tb	0,009 $\pm$ 0,003	0,010 $\pm$ 0,001	0,012 $\pm$ 0,004
Yb	0,009 $\pm$ 0,003	0,015 $\pm$ 0,003	0,020 $\pm$ 0,002
Lu	0,001 $\pm$ 0,0002	0,002 $\pm$ 0,0004	0,003 $\pm$ 0,0003
Hf	0,021 $\pm$ 0,006	0,043 $\pm$ 0,006	0,041 $\pm$ 0,004
Ta	0,010 $\pm$ 0,003	0,007 $\pm$ 0,001	0,006 $\pm$ 0,0004
Au	0,028 $\pm$ 0,008	0,022 $\pm$ 0,005	0,026 $\pm$ 0,003
Th	0,088 $\pm$ 0,032	0,073 $\pm$ 0,011	0,055 $\pm$ 0,006
U	0,072 $\pm$ 0,025	0,104 $\pm$ 0,017	0,100 $\pm$ 0,008
Be*	0,005	0,008	0,006
B*	13,4	12,0	13,3
Mg*	1459	1118	1393
Al*	134	255	303
P*	1270	962	1097
K*	4998	3402	4452
Ti*	6,2	11,5	12,3
V*	0,07	0,27	0,23
Mn*	1984	1689	3068
Ni*	0,64	0,98	0,50

Среднее содержание $\pm$ ошибка среднего,			
Элемент	Доядерный период (до 1944 г.) (N=20)	Ядерный период (1945 – 1963 гг.) (N=58)	Современный период (1964 – 2012 гг.) (N=124)
Cu*	6,1	5,8	5,7
Ga*	0,13	0,15	0,21
Ge*	0,03	0,03	0,03
Y*	0,02	0,06	0,06
Zr*	0,15	0,28	0,39
Nb*	0,03	0,02	0,09
Mo*	0,26	0,28	0,24
Cd*	0,02	0,07	0,20
Pr*	0,006	0,03	0,02
Gd*	0,01	0,02	0,02
Dy*	0,003	0,015	0,013
Ho*	0,0006	0,0022	0,0025
Er*	0,0015	0,0063	0,0062
Tm*	0,0002	0,0009	0,0008
W*	0,006	0,045	0,1
Tl*	0,002	0,011	0,007
Pb*	0,4	1,3	0,43
Bi*	0,04	0,03	0,08

Примечание: X* - среднее содержание элемента, определенного с помощью ICP-MS, для черники и брусники п. Тимирязево Томской области.

На основе полученных результатов исследования динамики изменения элементного состава черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири установлено что у таких элементов как Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au наблюдается тенденция к увеличению содержания от доядерного периода к современному периоду времени. Ag имеет обратную тенденцию, его содержание в трех видах растений уменьшается от доядерного периода к современному (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Тенденции содержания химических элементов в трех видах лекарственных растений юга Сибири

Тенденция	Элемент
Увеличение содержания к современному периоду	Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au
Уменьшение содержания к современному периоду	Ag

Данные элементы являются индикаторами техногенеза юга Сибири, их увеличение содержания связано в первую очередь со спецификой производств и предприятий территории.

Нами также выявлены основные региональные тенденции, которые позволяют провести историческую реконструкцию изменений, происходящих в конкретных регионах Сибири.

Так, к особенностям развития техногенеза Томской области, следует отнести поступление Rb в ядерный период с 1945 по 1963 гг. и поступление Sc, Co, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Hf, Au, U в постядерный период с 1964 по 1986 гг., что, на наш взгляд, связано с запуском и работой предприятия ядерно-топливного цикла - Сибирского химического комбината на территории области в то время (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Региональные тенденции изменения содержания химических элементов в трех видах растений (черника, брусника, лабазник) территории юга Сибири

Регион	Тенденции накопления			
	Доядерный период	Ядерный период	Постядерный период	Современный период
Томская область		Rb	Sc, Co, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Hf, Au, U	
Республика Алтай	Rb, Ta			Ca, Sc, Cr, Fe, Sb, Ba, La, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu

Особенности развития техногенеза Республики Алтай характеризуются поступлением в современном периоде с 1987 по 2012 гг. в растения таких элементов как Ca, Sc, Cr, Fe, Sb, Ba, La, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu. В доядерный период с 1886 по 1944 гг. растения Алтая в большей степени были обогащены Rb и Ta (таблица 5.13).

По динамике изменения величин соотношений Th/U и La /Yb в составе изученных видов растений можно установить резкую смену геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом (таблица 5.14).

Таблица 5.14 - Величины Th/U и La /Yb отношений в изученных видах растений

Периоды	Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i>)				Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)		Лабазник вязолистный <i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim)			
	Томская область		Республика Алтай		Томская область		Томская область		Республика Алтай	
	Th/U	La/Yb	Th/U	La/Yb	Th/U	La/Yb	Th/U	La/Yb	Th/U	La/Yb
доядерный	4,0	10,6	2,30	6,0	0,5	46	0,3	10	0,3	13
ядерный	7,3	11,0	10,8	3,6	0,9	16	0,7	10	0,4	13
постядерный	0,8	5,7	0,07	13,5	1,7	8	0,4	23	0,8	12
современный	0,2	6,8	0,19	44,3	0,4	14	0,9	13	-	-

Коэффициент биологического поглощения химических элементов в трех видах растений юга Сибири (таблица 5.15) и геохимические ряды (таблица 5.16), характеризующие разные временные периоды позволяют сделать вывод о накопительном характере концентрирования к современному периоду для большинства изученных химических элементов, однако имеет место некоторая особенность в каждом из периодов.

Так, КБП увеличиваются от доядерного к современному периоду у Na, Ca, Sc, As, Br, Sr, La, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf. У хрома, железа и урана КБП увеличиваются в ядерный период времени и остаются на этом же уровне в современном периоде. Увеличение КБП только в ядерный период характерно для Co. Снижение коэффициентов биологического поглощения в ядерный период характерно для Au и Eu. Коэффициенты биологического поглощения Ag, Ta, Th уменьшаются от доядерного к современному периоду.

Таблица 5.15 – Коэффициенты биологического поглощения трех видов растений (черника, брусника, лабазник) юга Сибири, рассчитанные относительно почв

Элемент	Содержание в почве, мг/кг	Доядерный период (до 1944 г.)		Ядерный период (1945 – 1963 гг.)		Современный период (1964 – 2012 гг.)	
		Содержание, мг/кг	КБП	Содержание, мг/кг	КБП	Содержание, мг/кг	КБП
Na	8700	117	0,01	200	0,02	267	0,03
Ca	20760	5002	0,24	5718	0,28	6684	0,32
Sc	9	0,028	0,003	0,057	0,006	0,071	0,008
Cr	119	4,2	0,04	7,2	0,06	7,0	0,06
Fe	23002	328	0,01	725	0,03	679	0,03
Co	12	0,51	0,04	0,62	0,05	0,48	0,04
Zn	-	43,4	-	45,9	-	55,9	-
As	4	0,19	0,05	0,21	0,05	0,30	0,08
Br	19	11,4	0,60	14,4	0,76	14,7	0,77
Rb	77	9,9	0,13	10,9	0,14	8,6	0,11
Sr	194	15,0	0,08	21,1	0,11	27,9	0,14
Ag	2,0	0,08	0,04	0,08	0,04	0,05	0,03

Элемент	Содержание в почве, мг/кг	Доядерный период (до 1944 г.)		Ядерный период (1945 – 1963 гг.)		Современный период (1964 – 2012 гг.)	
		Содержание, мг/кг	КБП	Содержание, мг/кг	КБП	Содержание, мг/кг	КБП
Sb	1,1	0,08	0,07	0,09	0,08	0,06	0,06
Cs	3,1	0,04	0,01	0,03	0,01	0,04	0,01
Ba	501	51,9	0,10	48,4	0,10	52,5	0,10
La	23	0,104	0,005	0,196	0,009	0,244	0,011
Ce	45	0,368	0,01	0,434	0,01	0,522	0,01
Nd	-	0,628	-	0,759	-	0,773	-
Sm	4,8	0,015	0,003	0,031	0,007	0,041	0,009
Eu	0,8	0,008	0,010	0,007	0,008	0,007	0,009
Tb	0,7	0,009	0,013	0,010	0,014	0,012	0,017
Yb	2,3	0,009	0,004	0,015	0,007	0,020	0,009
Lu	0,4	0,001	0,003	0,002	0,006	0,003	0,008
Hf	5,5	0,021	0,004	0,043	0,008	0,041	0,007
Ta	0,9	0,010	0,011	0,007	0,008	0,006	0,007
Au	0,02	0,028	1,40	0,022	1,09	0,026	1,28
Th	5,7	0,088	0,02	0,073	0,01	0,055	0,01
U	2,3	0,072	0,03	0,104	0,05	0,100	0,04

В целом, установленная тенденция к увеличению поступления рассмотренных элементов с почвенными растворами не столь существенна, как это наблюдается при сравнении фактических содержаний элементов в растениях разных временных периодов, однако, намеченная тенденция свидетельствует о значительном концентрировании элементов со временем, связанное, в том числе, с депонирующей средой.

Таблица 5.16 – Геохимические ряды концентрирования химических элементов в растениях юга Сибири по трем временным периодам развития биосферы

Период:	КБП
Доядерный период (до 1944 г.)	Au _{1,1} Br _{0,6} Ca _{0,2} Rb _{0,1} Ba _{0,1} Sr _{0,08} Sb _{0,07} Co _{0,04} As _{0,04} Ag _{0,04} Cr _{0,03} U _{0,03} Th _{0,02} Na _{0,01} Fe _{0,01} Cs _{0,01} Eu _{0,01} Ta _{0,01} Tb _{0,01} Ce _{0,008} La _{0,005} Yb _{0,004} Hf _{0,004} Sc _{0,003} Sm _{0,003} Lu _{0,003}
Ядерный период (1945 – 1963 гг.)	Au _{0,9} Br _{0,8} Ca _{0,3} Rb _{0,1} Sr _{0,1} Ba _{0,1} Sb _{0,08} Cr _{0,06} U _{0,05} Co _{0,05} As _{0,05} Ag _{0,04} Fe _{0,03} Na _{0,02} Cs _{0,01} Ce _{0,01} Tb _{0,01} Th _{0,01} La _{0,009} Eu _{0,008} Hf _{0,008} Ta _{0,008} Sc _{0,007} Sm _{0,006} Yb _{0,006} Lu _{0,006}
Современный период (1964 – 2012 гг.)	Au _{1,0} Br _{0,8} Ca _{0,3} Sr _{0,1} Rb _{0,1} Ba _{0,1} As _{0,07} Cr _{0,06} Sb _{0,05} U _{0,04} Co _{0,04} Na _{0,03} Fe _{0,03} Ag _{0,03} Tb _{0,02} Cs _{0,01} La _{0,01} Ce _{0,01} Th _{0,01} Eu _{0,009} Yb _{0,009} Sc _{0,008} Sm _{0,008} Lu _{0,008} Hf _{0,007} Ta _{0,007}

Примечание: В связи с тем, что нами при анализе гербарного материала было использовано не озолненное сухое вещество, коэффициенты биологического поглощения очень малы, но этого достаточно для рассмотрения динамики и не меняет результат исследования.

Необходимо отметить, что КБП, рассчитанный относительно почв Томской области показал, что все три вида растений имеют высокий процент содержания кальция, брома и

золота. Причем, ареал высоких содержаний золота в лабазнике (п. Тимирязево, д. Черная речка, п. Головино, п. Самусь, д. Новоселово, р. Тым) во многом соотносится с высоким содержанием золота в почвах Томской области (рисунок 5.12) (Барановская, 2011).

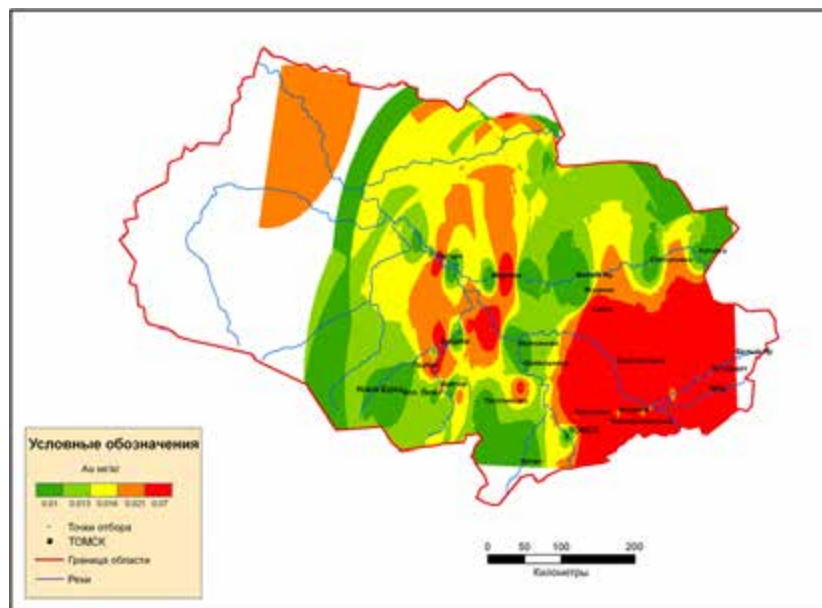


Рисунок 5.12 – Содержание золота в почвах Томской области (Барановская, 2011)

Высокое содержание кальция в лабазнике (п. Головино, п. Зональный, д. Березкино, п. Самусь, п. Ольговка, п. Наумовка, д. Гусево) во многом соотносится с ареалом высоких содержаний кальция в почвах Томской области (рисунок 5.13).

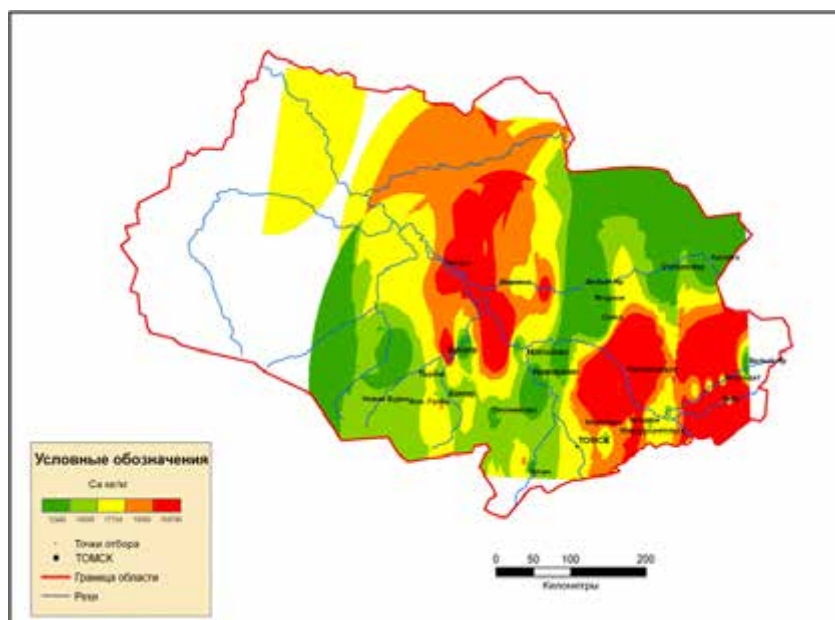


Рисунок 5.13 – Содержание кальция в почвах Томской области (Барановская, 2011)

На наш взгляд, данные элементы поступают в растения преимущественно с почвенными растворами.

Таким образом, элементный состав трех видов изученных растений юга Сибири и динамика его изменения является надежным индикаторами техногенеза и указывает на металлизацию биосферы с накоплением Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au и уменьшении содержания серебра. При этом установлена локальная специфика накопления растениями в Томской области Co, Ce, Eu, U и в Алтайском регионе Cr, Fe, Sb, Ba, Tb.

Изменение коэффициентов биологического поглощения элементов в зависимости от временного периода характеризует изменение геоэкологической обстановки с течением времени, которое выражается в увеличении содержания в надземной части растений Na, Ca, Sc, As, Br, Sr, La, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu, Cr, Fe, U, уменьшении содержания Ag, Ta, Th.

Необходимо отметить, что ареал высоких содержаний Ca, Br, Au в почве Томской области во многом совпадает с ареалом высоких концентраций данных элементов в изученных видах растений.

Установлены тенденции накопления и элементы-индикаторы техногенеза как для юга Сибири в целом, так и для Томской области и Республики Алтай в частности.

6 Динамика содержания плутония в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) и лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

6.1 Распространенность плутония в живых организмах

Плутоний – это искусственный, созданный человеком радионуклид, который появился в 1940г. и дал начало эре ядерного оружия. Его свойства, превращения, формы, действие изучали исследователи многих стран и с недавнего времени эти данные стали доступны.

Плутоний образуется при бомбардировке урана тяжелыми ядрами водорода. Далее под воздействием нейтронов он может делиться на два осколка с выделением энергии и новых нейтронов, что поддерживает цепную ядерную реакцию деления.

Плутоний в окружающей среде является огромной проблемой из-за своего очень долгого физического (более тысячи лет) и биологического периода полураспада, что делает его высоко радиотоксичным, он накапливается преимущественно в костях и печени млекопитающих и человека, в частности, период полувыведения элемента из скелета составляет 50-80 лет (Уткин, 2004). Плутоний относится к группе актинидных элементов, их электронная оболочка 5f заполняется аналогично 4f-оболочке в лантаноидах. В 5f-оболочке электроны менее эффективно экранированы, чем 4f. В связи с нестабильностью 5f электронов, актинидные элементы имеют более сложные химические свойства, чем лантаноиды. В частности, в связи с многочисленными степенями окисления, их поведение в окружающей среде трудно предсказать. Плутоний имеет пять различных степеней окисления от III до VII и большинство из них может находиться одновременно в растворе.

Большинство изотопов плутония это альфа-излучатели с длинным периодом полураспада, но есть также бета-излучатель - ^{241}Pu (таблица 6.1).

Таблица 6.1 - Ядерно-физические свойства некоторых изотопов плутония
(Рихванов, 2009; Атурова, 2001)

Изотоп плутония	Период полураспада, год	тип распада	Энергия частиц, МэВ
Pu-238	86,4	э.з. 100%	4,45
Pu-239	24390	э.з. 100%	5,10
Pu-240	6620	э.з. 100%	5,15
Pu-241	$5,6 \cdot 10^5$	э.з. 99%, $\alpha > 1\%$	0,021; 4,91

Оба изотопа ^{244}Pu и ^{239}Pu предположительно в природе были произведены при взрыве в процессе создания Вселенной. Поскольку ^{244}Pu имеет период полураспада $8,3 \cdot 10^7$ лет, его

следы, возможно, сохранились до настоящего времени. Природный ^{239}Pu связан с урановыми месторождениями, и, как предполагается, имеет концентрацию около 1 мБк/ кг в земной коре и в океанах за время эволюции всего живого (Рихванов, 2009).

Основными источниками поступления плутония в окружающую среду являются испытания ядерного оружия в атмосфере в 1950-1970гг., аварии на атомных станциях (самая крупная Чернобыльская, но были и более мелкие аварии с загрязнением локальных территорий), деятельность предприятий ядерно-топливного цикла по переработке ядерного топлива, аварии спутников (таблица 6.2).

Таблица 6.2 - Источники поступления плутония в окружающую среду
(Рихванов, 2009; Ikäheimonen, 2003)

Радио- нуклид	Испытания ядерного оружия, ПБк	Авария SNAP-9A, ПБк	Чернобыльская авария, ПБк	Работа АЭС, (на 1 ГВт в год)	Регенерация отработанного топлива из легководных реакторов (на 1 ГВт в год)
Pu-238	0,28 – 0,36	0,5 – 0,63	0,025 – 0,035	-	$4,0 * 10^7$
Pu-239, 240	11 – 15	-	0,055 – 0,072	$1 * 10^7$	$14,5 * 10^6$
Pu-241	140 - 360	-	5 – 6,2	$2 * 10^8$	$1,5 * 10^9$

На территории Сибири помимо глобальных выпадений плутония существуют еще и локальные источники загрязнения территории плутонием. Это Сибирский Химический комбинат (г. Северск Томской области), который осуществляет практически полный цикл ядерных производств, а также Горно-химический комбинат (г.Красноярск).

На СХК случались различные инциденты, приведшие к загрязнению окружающей среды: 36 аварийных ситуаций и инцидентов в 5 случаях возникала самоподдерживающаяся цепная реакция, погибло 4 человека, 6 человек получили повышенные дозы облучения. В 1963 на полигоне захоронения ЖРО имело место интенсивное газовыделение из скважины, повлекшее вынос радиоактивной газированной жидкости. При этом был загрязнен участок поверхности около 0,1 га. В июне 1977 на радиохимическом заводе при переработке облученных на реакторном заводе блоков в скомплектованную партию попали блоки с малой выдержкой, что привело к повышенному выбросу в атмосферу в течение двух недель ^{131}I в объеме 22 Ки (превышение месячных предельно допустимых выбросов — ПДВ в 2,4 раза). 06.04.1993 - разрушение технологического оборудования, сопровождающееся взрывом газа, разрушением нескольких производственных зданий и выбросом аэрозолей в окружающую среду (Индекс по шкале INEC– 3) (Сибирский..., 2014).

К сожалению, в Томской области нет действенной системы оперативного обнаружения аварийного выброса плутония с территории СХК. Система автоматизированного контроля радиационной обстановки АСКРО, посты наблюдения которой расположены вокруг СХК, не способна зарегистрировать выброс плутония.

Растительность, как биоиндикатор, отражает загрязнения окружающей среды, в том числе плутонием. В подтверждение этому существуют работы в данном направлении как российских, так и зарубежных ученых.

Так, И. В. Молчанова, Л. Н. Михайловская, В. Н. Позолотина, Е. В. Антонова исследовали накопление техногенных радионуклидов в почве и растительности в районе восточно-уральского радиоактивного следа. Исследователи рассматривали накопительную способность таксономических групп растений не выделяя виды. Изученная группа древесных растений включала березу повислую и сосну обыкновенную. Группа травянистых растений объединяла представителей лесного и лугового разнотравья, а также рудеральные виды растений (таблица 6.3).

Таблица 6.3 - Удельная активность $^{239, 240}\text{Pu}$ в растениях разных таксономических групп и грибов (Молчанова, 2014)

Жизненная форма	Исследуемая часть	^{239, 240} Pu	
		М	CV
Высшие растения			
Древесные растения	листья	0,10	80
	крупные ветви	0,07	120
Травянистые растения	надземные органы	0,60	150
мхи, дерновинки	побеги	12,4	88
Низшие растения			
Лишайники, листоватые	талломы	3,0	50
Грибы			
сидячие	плодовые тела	-	-
шляпочные		-	-

Примечание: М – среднее значение, Бк/кг воздушно-сухой массы; CV – коэффициент вариации, %.

Авторы отмечают, что коэффициенты вариации (CV, %) содержания радионуклидов у представителей разных таксономических групп, изменялись от 21 до 150% (таблица 6.3). Высокий разброс значений, имеющий место в пределах каждой исследованной группы растений, может быть обусловлен различиями накопительной способности отдельных видов, составляющих крупную таксономическую группу. Авторами на примере видов, принадлежащих к одному семейству Asteraceae и произрастающих, на относительно

однородных по плотности загрязнения участках, оценили вклад видовой специфики травянистых растений в уровень накопления радионуклидов (таблица 6.4).

Таблица 6.4 - Удельная активность $^{239,240}\text{Pu}$ в представителях растений семейства Asteraceae (Молчанова, 2014)

Вид растения	$^{239,240}\text{Pu}$	
	М	CV
Лопух паутинистый	0,05	50,0
Бодяк щетинистый	0,14	32,0
Тысячелистник обыкновенный	0,20	123,8
мать-и-мачеха обыкновенная	-	-
Полынь горькая	3,47	50,0
Василек шероховатый	-	-
Цикорий обыкновенный	-	-

Примечание: М – среднее значение, Бк/кг воздушно-сухой массы; CV – коэффициент вариации, %.

Авторы установили, что для $^{239, 240}\text{Pu}$ размах колебаний среднего значения достигает двух порядков величин. Максимальное содержание $^{239, 240}\text{Pu}$ отмечено в полыни горькой.

Для территории Мурманской области группой финских и норвежских ученых Outola I, Riekkinen I, Heikkinen T, Jaakkola и др., выполнены исследования по изучению уровня накопления элементов в чернике и бруснике. Они установили содержание плутония ($^{239+240}\text{Pu}$) в кустарничковых растениях (черника и брусника) близ г. Мончегорска на уровне от 1 до 19 мБк/кг, а в финском городе Harjavalta, концентрация плутония ниже от 0,4 до 2,6 мБк/кг (Outola, 2002).

К сожалению, в данных работах не уделяется внимание отношению изотопов плутония $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$. Как известно, изотопное отношение может быть использовано для оценки и выявления источника поступления плутония в окружающую среду (таблица 6.5).

Таблица 6.5 - Соотношение изотопов плутония из различных источников поступления в окружающую среду

Источник поступления	$^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	Источник информации
Выпадения от испытания ядерного оружия высокой мощности(северное полушарие) + SNAP 9A	0,026 – 0,029 0,03 – 0,04	Cooper и др., 2000; Holm и др., 1986; Holm и др., 1992. Hardy и др., 1973; Perkins, Thomas, 1980.
Семипалатинск + Новая земля, испытание оружия малой мощности	0,027	Cooper и др., 2000
Кыштымская авария	0,0082	Cooper и др., 2000
Авария возле датского Thuleulykken	0,014	Eriksson, 2002
Чернобыльская авария	0,47 – 0,54	Holm и др., 1992; Доклад Госком СССР, 1986;

Источник поступления	$^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$	Источник информации
		Aarkrog, 1998.
Реакторное топливо (в зависимости от типа реактора и времени выгорания)	0,1 - 9	Friberg, 1998

Оценка изотопного отношения $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ выполняется в основном для почвы, донных отложений и воды. Есть единичные работы по оценке данного соотношения для живого вещества. Здесь, заслуживает внимания работа польских ученых Skwarzec B., Boryło A., Prucnal M. и др. Они оценили уровни накопления ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в органах и тканях оленей Северной Польши, а также оценили отношения изотопов, выделили вклад «Чернобыльского» плутония. Также был рассчитан фактор передачи ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в оленя, как отношение концентрации плутония в животном к концентрации плутония в пище (таблица 6.6).

Таблица 6.6 - Фактор передачи изотопов плутония в трофической цепи (Skwarzec, 2010)

Трофическая цепочка	$^{239+240}\text{Pu}$	^{238}Pu
Ягоды - почки	0,038 – 0,463	0,124 – 0,678
Ягоды - печень	0,014 – 0,171	0,051 – 0,277
Части дерева - почки	0,007 – 0,090	0,028 – 0,068
Части дерева - печень	0,003 – 0,033	0,012 – 0,028

Из таблицы видно, что у ^{238}Pu фактор передачи значительно выше, чем у $^{239+240}\text{Pu}$. Авторы предполагают, что значительное количество ^{238}Pu в тканях и органах может быть вызвано более высокой подвижностью ^{238}Pu чем $^{239+240}\text{Pu}$. Ранее, в работе W.E. Schell и др. «Geochemistry of transuranic elements at Bikini atoll» (1980г.), на основе повышенных отношений ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ сделано заключение о преимущественной подвижности ^{238}Pu . Такой вывод обусловил появление гипотезы о быстром истощении вещества с высокой удельной активностью ^{238}Pu , что и служит причиной повышенной растворимости. В опытах по выращиванию растений на гидропонных растворах, содержащих плутоний, было доказано, что растения могут эффективно накапливать растворимый плутоний (Delaney, 1978).

6.2 Содержание плутония в составе растений на территории Томской области и Республики Алтай

Наши данные по исследованию уровня накопления плутония в растительности хорошо соотносятся с геохимическими особенностями каждого временного периода исследования (доядерный, ядерный и современный) и локальной спецификой региона.

Всего нами проанализировано 16 проб растительного материала, из них 4 пробы – черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), 13 проб лабазник вязолистный (*Filipendula*

Ulmargia (L) Maxim). Проанализирован гербарный растительный материал с 1901 по 1985 годы с территории Томской области и горных районов Алтая (рисунок 6.1). Гербарный материал для анализа любезно предоставлен гербарием им. П.Н. Крылова Национального исследовательского Томского государственного университета и гербарием Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН.



Рисунок 6.1 - Схема расположения точек отбора растительности для изучения на содержание изотопов плутония

А – Республика Алтай; Б – Томская область; В – Алтайский край

По техногенной радиационной нагрузке Томская область и Республика Алтай сильно различаются. На территории Республики Алтай отсутствуют производства, на которых используются источники радиоактивного излучения. На современную радиационную обстановку в регионе в наибольшей степени оказывают влияние прошлые локальные выпадения долгоживущих радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$), поступивших при наземных и воздушных ядерных взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне (1949–1962 гг.) и, в меньшей степени, на полигоне Лобнор (1970–1980 гг.) (Робертус, 2013). Данные по выявлению фактов радиационного воздействия испытаний на расположенном на сопредельной территории Семипалатинском ядерном полигоне на территорию Республики Алтай разнятся, но остается неизменным сам факт воздействия. Анализ архивных данных, выполненный на основе

экспертных оценок специалистами Института глобального климата и экологии, позволил определить 19 ядерных взрывов, внесших свой вклад в формирование радиационной обстановки на территории республики (таблица 6.7).

Таблица 6.7 - Характеристика ядерных взрывов, формировавших радиационную обстановку на территории Республики Алтай (Красилов, 2000)

№ п/п	Дата взрыва	Тип взрыва	Мощность взрыва, кт	Количество инжестированной радиоактивности на июль 1994г., Ки		
				90Sr	137Cs	239,240Pu
1	12.08.1953	наземный	410	8000	22000	280
2	23.08.1953	воздушный	20-150	-	-	-
3	03.09.1953	воздушный	1-2	-	-	-
4	05.10.1954	наземный	4,0	100	280	105
5	29.07.1955	наземный	1,3	40	100	245
6	05.08.1955	наземный	1,2	35	90	215
7	24.08.1956	наземный	26,5	900	2000	90
8	10.09.1956	воздушный	20-150	-	-	-
9	22.08.1957	воздушный	150-1500	-	-	-
10	13.09.1957	воздушный	1-20	-	-	-
11	26.09.1957	воздушный	1-20	-	-	-
12	04.09.1961	воздушный	1-20	-	-	-
13	05.09.1961	воздушный	1-20	-	-	-
14	18.09.1961	воздушный	1-20	-	-	-
15	04.10.1961	воздушный	1-20	-	-	-
16	04.08.1962	воздушный	1-20	-	-	-
17	18.08.1962	воздушный	1-20	-	-	-
18	25.08.1962	воздушный	1-20	-	-	-
19	28.09.1962	воздушный	1-20	-	-	-

Важно отметить, что выпадения имеют «пятнистый» характер и зависят от орографических и климатических особенностей региона.

Нами получены данные по активности изотопов плутония как в гербарных образцах растений, так и в современном материале (таблица 6.8).

Таблица 6.8 - Удельная активность ^{239}Pu и ^{238}Pu в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) и лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) Томской области, Алтайского края и Республики Алтай

Место отбора	Материал, надземная часть	Год	Активность ^{239}Pu , Бк/кг	Активность ^{238}Pu , Бк/кг	Количество измерений, шт
Томская область					
п. Тимирязево		1933	< 0,02	< 0,02	3

Место отбора	Материал, надземная часть	Год	Активность ²³⁹ Pu, Бк/кг	Активность ²³⁸ Pu, Бк/кг	Коли- чество измере- ний, шт
Томская область					
	черника	1947	< 0,02	< 0,02	3
		1962	0,29	0,47	3
		2012	0,15	0,06	3
д. Березкино	лабазник	1948	< 0,02	< 0,02	3
г. Колпашево		1912	< 0,02	< 0,02	3
Алтайский край и Республика Алтай					
окрестности Колыванского завода	лабазник	1901	< 0,02	< 0,02	3
Усть-Канский район, Семинский хребет		1902	< 0,02	< 0,02	3
Усть-Коксинский район, Катунский хребет		1913	< 0,02	< 0,02	3
оз.Телецкое		1948	< 0,02	< 0,02	3
Усть-Канский район, Семинский хребет		1951	0,61	0,17	3
Чарышский район, д. Сентелек,		1955	< 0,02	< 0,02	3
Усть-Коксинский район, Катунский хребет		1956	0,27	0,72	3
бассейн р.Уймень, долина р.Кележе		1961	< 0,02	< 0,02	3
Усть-Канский район, Семинский хребет		1984	< 0,02	< 0,02	3
Усть-Коксинский район, Катунский хр.		1985	< 0,02	< 0,02	3

Анализ этих материалов показывает, что в гербарных сборах всех видов растительности, отобранной в доядерный период активность изотопов плутония находится на уровне ниже предела определения используемой методики (0,01 – 0,02 Бк/кг). В период ядерных испытаний в атмосфере (50-60-е гг.), а в районе размещения предприятий ЯТЦ отмечаются более высокие уровни накопления изотопов плутония в рассмотренных типах растительности (рисунок 6.2; 6.3).

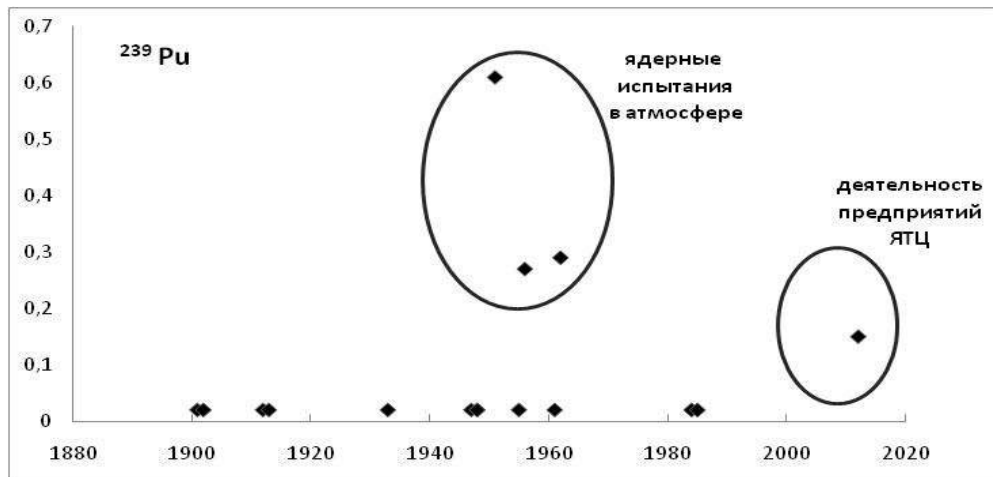


Рисунок 6.2 - Динамика удельной активности ^{239}Pu в составе черники (*Vaccinium myrtillus*) и лабазника (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim юга Сибири, Бк/кг сухого вещества

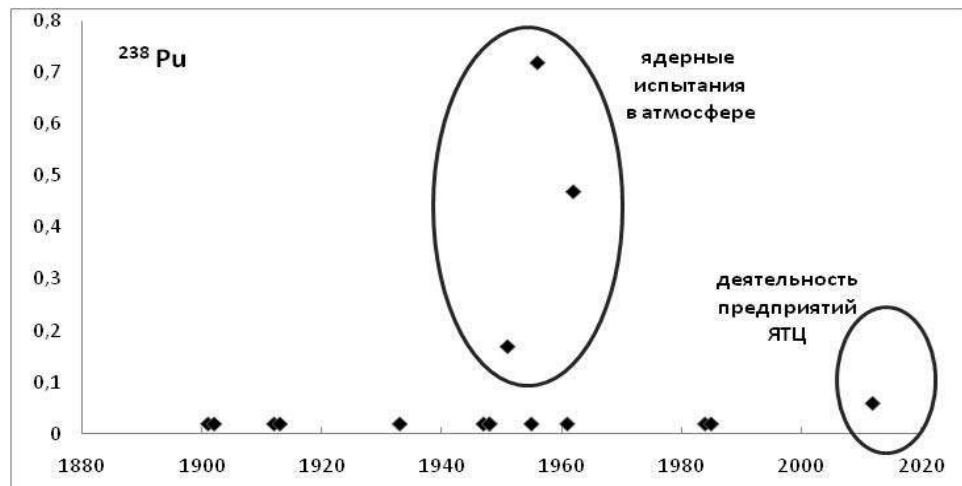


Рисунок 6.3 - Динамика удельной активности ^{238}Pu в составе черники (*Vaccinium myrtillus*) и лабазника (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim юга Сибири, Бк/кг сухого вещества

По техногенной радиационной нагрузке Томская область и Республика Алтай существенно различаются. На территории Республики Алтай отсутствуют производства, на которых используются материалы, содержащие плутоний (Рихванов, 1997; Кац, 1993). На современную радиационную обстановку в регионе в наибольшей степени оказывают влияние прошлые локальные выпадения долгоживущих радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$), поступивших при наземных и воздушных ядерных взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в 1949–1962 гг. и на полигоне Лобнор в 1970–1980 гг. (Рихванов, 2004; Робертус, 2013). Следует отметить, что выпадения имеют «пятнистый» характер и зависят от орографических и климатических особенностей региона (Рихванов, 2004).

Тенденция увеличения содержания плутония в растениях в ядерный период времени установлена нами и для лабазника вязолистного, отобранного в районах Семинского и Катунского хребтов (рисунок 6.4; 6.5).

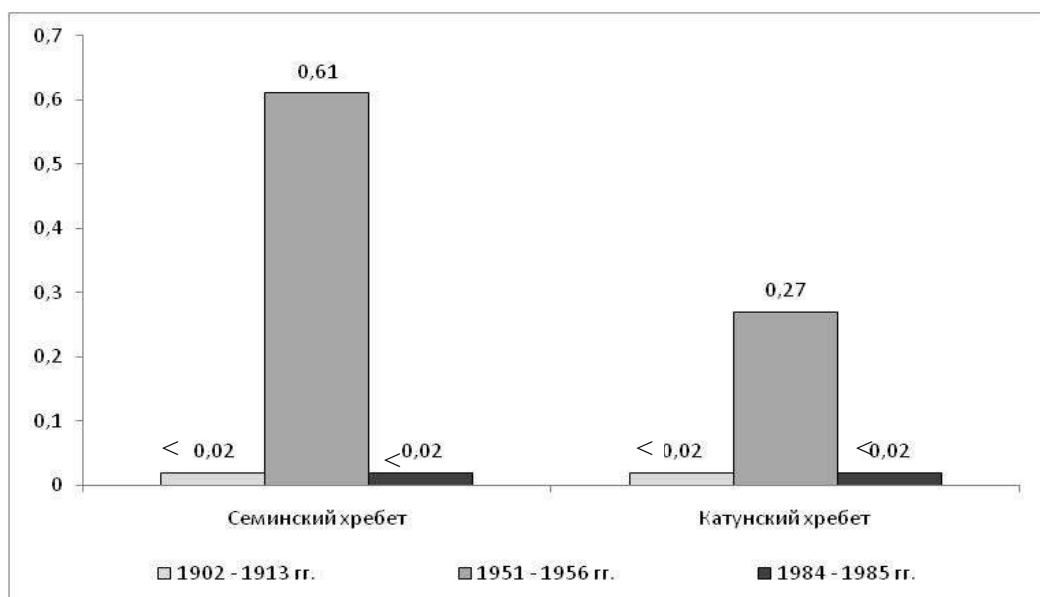


Рисунок 6.4 - Динамика удельной активности ^{239}Pu в составе лабазника (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) Семинского и Катунского хребтов Республики Алтай, Бк/кг сухого вещества

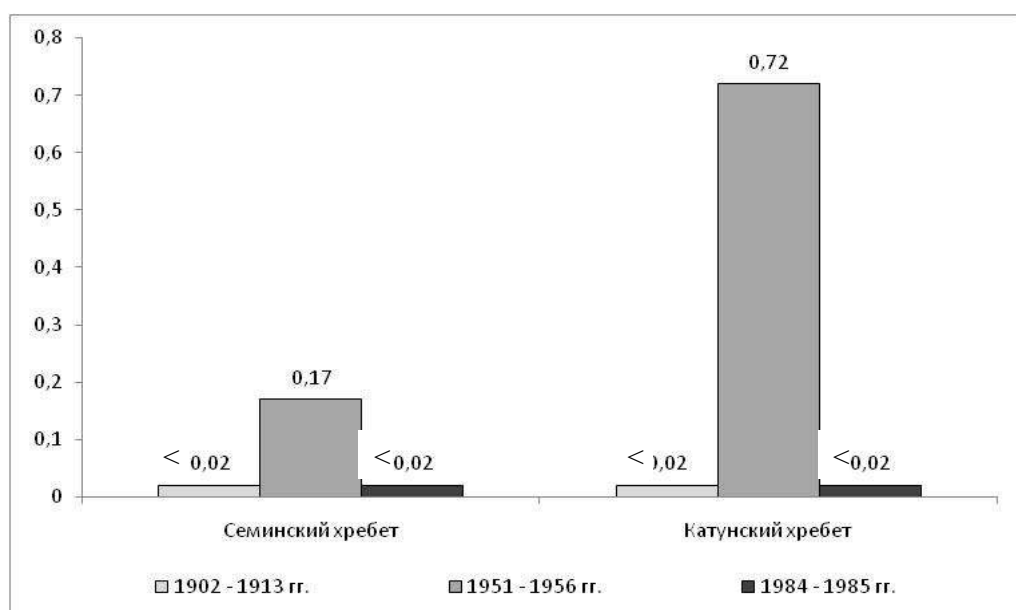


Рисунок 6.5 - Динамика удельной активности ^{238}Pu в составе лабазника (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) Семинского и Катунского хребтов Республики Алтай, Бк/кг сухого вещества

Установлено, что динамика содержания плутония в составе лабазника хорошо коррелирует со временем интенсивных ядерных испытаний в атмосфере на расположенном на сопредельной территории Семипалатинском испытательном полигоне. Поступление плутония в состав лабазника приходится на 1951 год для территории Семинского хребта и на 1956 год для территории Катунского хребта. В сборах лабазника 1902, 1913, 1984 и 1985 годов плутоний не обнаружен. Проанализированные нами пробы лабазника в районе оз. Телецкого (07.07.1961г.) и в районе д. Сентелек Чарышского района (21.05.1955г.) не показали наличия в них плутония,

хотя в эти годы испытания на СИП проводились и следы ядерных взрывов были обнаружены на территории республики (Красилов, 2000). Этот факт может свидетельствовать о «пятнистости» (неравномерности) выпадений плутония на поверхность земли.

Кардинально иная ситуация в отношении уровня активности изотопов плутония в составе растительности наблюдается в Томской области (рисунок 6.6). Это, на наш взгляд, обусловлено тем, что на данной территории функционирует с 1955 года плутониевое производство. Его присутствие в этом районе фиксируется во многих средах (почва, донные отложения, торф и др.) (Архангельская, 2004; Атурова, 2001; Берчук, 2012; Межибор, 2009; Рихванов, 1997; Gautthier-Lafaye, 2007).

В образцах черники, которые были отобраны в районе п. Тимирязево близ г. Томска присутствие плутония устанавливается не только в ядерный период (сбор 1962 года), но и в современных сборах 2012 года.

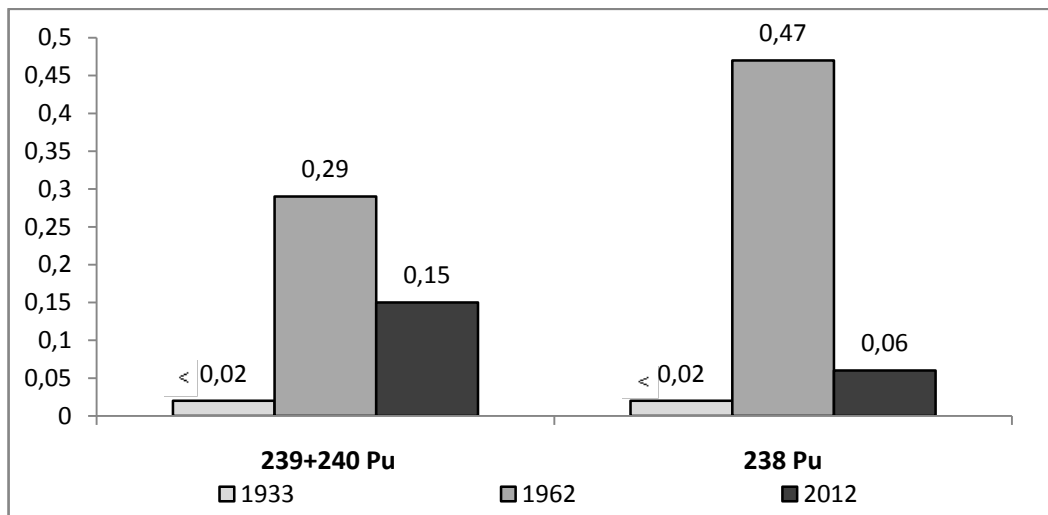


Рисунок 6.6 - Динамика удельной активности ^{239}Pu и ^{238}Pu в составе черники (*Vaccinium myrtillus*) п. Тимирязево Томской области в разные годы, Бк/кг сухого вещества

Таким образом, устанавливается, что для растительности Республики Алтай и Томской области наблюдаются принципиально различные тенденции в накоплении плутония. В районе, где содержание плутония обусловлено только глобальными выпадениями, содержание плутония в растительности устанавливается только в растительных сборах ядерного периода (1945 - 1963 гг.), а в районе, где функционирует предприятие ЯТЦ, содержание плутония в растительности фиксируется и в современном периоде времени (рисунок 6.7).

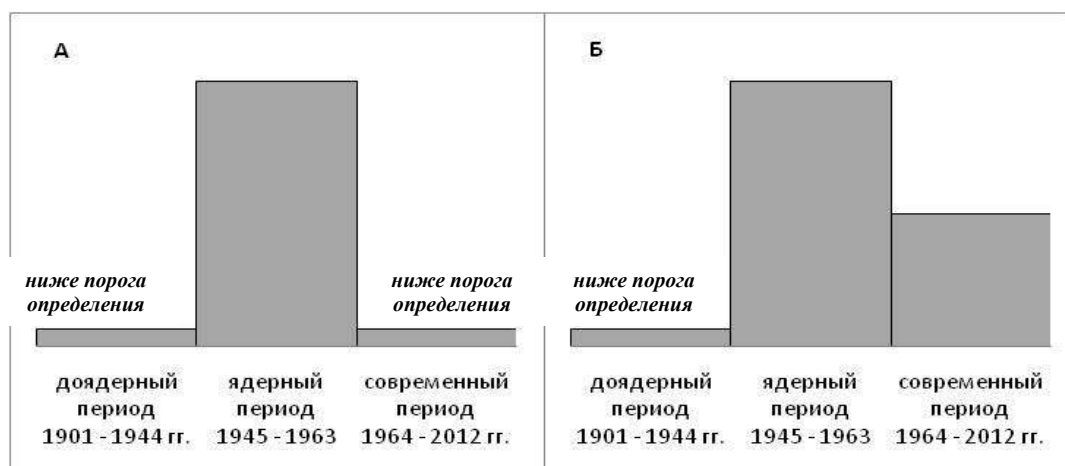


Рисунок 6.7 - Обобщенная сравнительная диаграмма поступления плутония в растения в районах с отсутствием ядерных производств (А) и в районе с предприятием ядерно-топливного цикла (Б)

При изучении плутония в природных средах обращается внимание на соотношение его изотопов, например, ^{238}Pu к ^{239}Pu , что позволяет установить вероятный источник его поступления (Трансурановые..., 1985; Hardy, 1973).

Отношение $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ в составе черники обыкновенной и лабазника вязолистного показано в таблице 6.9 и рисунке 6.8.

Таблица 6.9 - Отношение $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ в составе черники (*Vaccinium myrtillus*) и лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim)

Материал/ год	Отношение $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$			
	Республика Алтай		Томская область	
	Семинский хребет	Катунский хребет	п. Тимирязево	
	1951	1956	1962	2012
<i>Vaccinium myrtillus</i>	-	-	1,62	0,4
<i>Filipendula Ulmaria</i> (L) Maxim	0,28	2,67	-	-

В сборах растительности отмечаются более высокие отношения $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ (от 0,28 до 2,67), чем принято считать для глобальных выпадений от испытания ядерного оружия в атмосфере. Общепринятая величина отношения $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ изменяется от 0,02 до 0,04 и установлена для почв, донных отложений, льда и воды (Wan, Druffel, Peter и мн. др.). Такая величина отношения изотопов обусловлена глобальными выпадениями плутония, поступившего в окружающую среду при испытании ядерного оружия в атмосфере (Hardy, 1973).

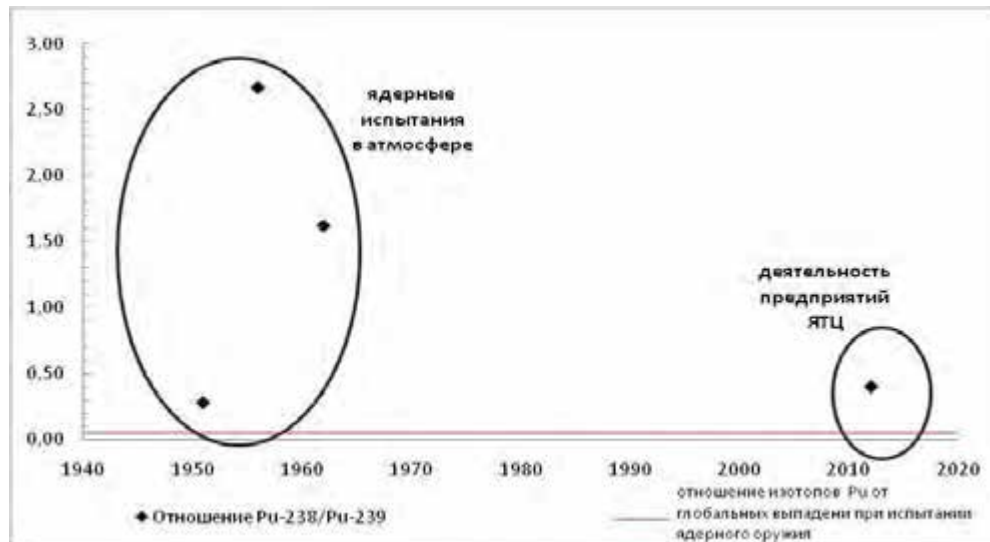


Рисунок 6.8 - Отношение $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ в составе черники и лабазника вязолистного

Наблюдаемые нами высокие отношения $^{238}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ можно объяснить, на наш взгляд, более высокой подвижностью ^{238}Pu по отношению к ^{239}Pu в живом веществе. Так, в работе W.R. Schell на основе повышенных отношений ^{238}Pu и ^{239}Pu сделано заключение о преимущественной подвижности ^{238}Pu (Schell, 1980). Такой вывод обусловил появление гипотезы о быстром истощении вещества с высокой удельной активностью ^{238}Pu , что и служит причиной повышенной растворимости. В опытах по выращиванию растений на гидропонных растворах, содержащих плутоний, было доказано, что растения могут эффективно накапливать растворимый плутоний (Delaney, 1978). К тому же в работе польских ученых показано, что у ^{238}Pu фактор передачи (коэффициент биологического поглощения) в живом веществе значительно выше, чем у ^{239}Pu (Skwarzec, 2010).

Таким образом, установлено, что измеряемо значимые активности ^{239}Pu и ^{238}Pu обнаруживаются в гербарных сборах растительности, отобранных в период с 1945 по 1963 год на всех характеризуемых территориях, тогда как период доядерного техногенеза (до 1945 года) они не обнаруживаются на детектируемом уровне измерения. В современный временной период изотопы Pu обнаруживаются только в Томском регионе на уровне $0,15 \text{ Бк/кг } ^{239}\text{Pu}$ и $0,06 \text{ Бк/кг } ^{238}\text{Pu}$, что, с высокой долей вероятности, объясняется функционированием в этой местности плутониевых производств на Сибирском химическом комбинате.

Отношение изотопов ^{238}Pu к ^{239}Pu для растительности юга Сибири колеблется от 0,3 до 2,7 в материале гербарных сборов, характеризующих ядерный временной период. В Томском районе в современный период этот показатель составляет 0,4. Эти показатели значительно выше, чем показатели этого отношения, взятые за характеристику глобальных аэрозольных выпадений от испытания ядерного оружия в атмосфере около 0,02 – 0,04 при изучении почв, донных отложений, льда, воды. Это как нам представляется обусловлено спецификой миграции и накопления ^{238}Pu в живом веществе.

Заключение

Использование гербарного и современного материала растений для исторической реконструкции изменения геохимии биосферы и выявления изменений, происходящих в природной среде в местах произрастания растений позволило установить специфику техногенеза юга Сибири и локальных территорий в частности.

В целом работа позволила прийти к следующим выводам:

1. Установлено содержание 58 (в том числе изотопов плутония) химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) и бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири и содержание 30 (в том числе изотопов плутония) химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim). Рассчитаны средние содержания 28 химических элементов в каждом виде растений.
2. Установлено существование положительных и отрицательных взаимосвязей между различными элементами и их группами, которые характеризуют природные и техногенные аномалии.
3. На основе анализа гербарного и современного растительного материала выявлено, что тенденцию к накоплению к современному периоду имеют такие элементы как Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au, что свидетельствует о процессах металлизации биосферы.
4. Историческая реконструкция динамики изменения элементного состава природной среды на территории юга Сибири, основанная на изучении гербарного растительного материала, выявила 9 тенденций изменения элементного состава черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*), 6 тенденций изменения элементного состава брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) и 9 тенденций лабазника вязолистного (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim).
5. Установлено, что в ядерный период в изученных видах растений Томской области идет накопление Rb, а в постядерный период с 1964 по 1986 гг. в растениях концентрируются такие элементы как Sc, Co, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Hf, Au, U.
6. Особенности развития техногенеза Республики Алтай является поступление в изученные виды растений в современном периоде с 1987 по 2012 гг. таких элементов как Ca, Sc, Cr, Fe, Sb, Ba, La, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu. В доядерный период с 1886 по 1944 гг. изученные растения Алтая в большей степени были обогащены Rb и Ta.
7. В современный временной период изотопы Pu обнаруживаются только в Томском регионе на уровне 0,15 Бк/кг ^{239}Pu и 0,06 Бк/кг ^{238}Pu , что, с высокой долей вероятности, объясняется функционированием в этой местности плутониевых производств на Сибирском химическом комбинате.
8. Отношение изотопов ^{238}Pu к ^{239}Pu для растительности юга Сибири колеблется от 0,3 до 2,7 в материале гербарных сборов, характеризующих ядерный временной период. В Томском районе в современный период этот показатель составляет 0,4. Эти показатели значительно

выше, чем показатели этого отношения, взятые за характеристику глобальных аэрозольных выпадений от испытания ядерного оружия в атмосфере около 0,02 – 0,04 при изучении почв, донных отложений, льда, воды. Это как нам представляется обусловлено спецификой миграции и накопления ^{238}Pu в живом веществе.

Таким образом, изменение химического состава растений ярко отражает развитие ядерного техногенеза на протяжении более 100 лет. Результатом открытия явления радиоактивности и использования ядерной энергии человек безвозвратно изменил состав биосферы, изотопы плутония и других трансурановых элементов обнаруживаются во всех природных средах, в том числе растительности. На основе полученных результатов установлено, что идет металлизация биосферы, увеличение содержания многих элементов в растениях в современном периоде на порядок превышает содержания в доядерном периоде.

Список литературы

1. Аватуров, А. В. Лесная древесная растительность как индикатор состояния окружающей среды / А.В. Аватуров // Биоиндикация окружающей среды Москвы и Подмосковья. – М.: Наука, 1982. – с. 97 – 103.
2. Алексеев, А. С. Колебания радиального прироста в древостоях при атмосферном загрязнении / А.С. Алексеев // Лесоведение. – 1990. - №2. –с. 82-86.
3. Алексеенко, В. А. Аккумуляция тяжёлых металлов в биосфере при разработке месторождений полезных ископаемых / В.А. Алексеенко, Н. Манусова, И. Алексеенко // Актуальные проблемы экологической безопасности: очистка водных источников и воздушного бассейна, рециклинг твердых бытовых отходов. — Иерусалим, 2015. — С. 14–18.
4. Алексеенко, В. А. Геоботанические исследования для решения ряда экологических задач и поисков месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие / В.А. Алексеенко. – М.: Логос, 2011. – 244 с.
5. Алексеенко, В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
6. Алексеенко, В. А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка: монография / В.А. Алексеенко. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 520 с.
7. Алиев, Р. Р. Биоиндикация загрязнения природной среды с помощью биохимических и флуоресцентных параметров древесных растений: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Алиев Рустам Равильевич. – Ташкент, 1993. – 22с.
8. Анцырев, А. А. Геолого-структурные особенности размещения уранового оруденения в южной части Западной и Средней Сибири / А.А. Анцырев, Г.М. Комарницкий // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. — Томск, 1996. — С. 141-145.
9. Арбузов, С. И. Геохимия редких элементов в углях Центральной Сибири: Автореф. дис. док. геол.-мин. наук: 25.00.09 / Арбузов Сергей Иванович. – Томск, 2005.
10. Арбузов, С. И. Изучение потерь радиоактивных элементов при озолении угля и прогнозирование их выбросов в атмосферу / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, А.А. Поцелуев // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. — Томск: Изд-во ТПУ, 1996. — С. 306-308.
11. Архангельская, Т. А. Ретроспективная оценка радиоэкологической ситуации по результатам исследования годовых колец срезов деревьев: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Архангельская Татьяна Алексеевна. – Томск, 2004.

12. Асварова, Т. А. Уран и торий в растениях Терско-Кумской низменности / Т.А. Асварова, Г.Н. Гасанов, А.С. Абдулаева // Вестник Тамбовского университета, том 19, вып. 5, 2014г. – с. 1634-1637.
13. Асылбекова, Г. Е. Оценка экологического состояния урбоэкосистемы г. Павлодара с использованием растительных объектов :автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Асылбекова Гулмира Ермукановна. – Новосибирск, 2010. – 23 с.
14. Атурова, В. П. Плутоний в почвах Красноярского края: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Атурова Виктория Петровна. – Красноярск, 2001.
15. Агустайтис, А. А. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Агустайтис Альгидрас Альгирдович. –М., 1992. – 22с.
16. Баженов, В. А. Минеральные ресурсы Томской области / В. А. Баженов, Г. А. Добнер // Природокомплекс Томской области. Т.1. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1995. - С. 122-130.
17. Балясова, Г. Г. Радиальный прирост сосны и ели в лесопарках Мытищенского района как показатель их состояния и устойчивости / Г. Г. Балясова, В. Н. Трофимов // Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов». Т.3. – М.: МГУЛ, 1994. – с. 33-34.
18. Барановская, Н. В. Закономерности накопления и распределения химических элементов в организмах природных и природно-антропогенных экосистем: Автореф. дис. док.биол. наук: 03.00.16 / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, 2011. – 46 с.
19. Барановская, Н. В. Об актинидях в живом веществе / Н. В. Барановская // Материалы 3 Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», г. Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск: STT, 2009. – С. 73–82.
20. Барановская, Н. В. О радиоактивных элементах в живом веществе в условиях техногенеза / Н. В. Барановская // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Мат. IV Международ. конф., Томск, 4-8 июня 2013. – Томск: ТПУ, 2013. – С. 75-80.
21. Барановская, Н. В. Оценка экологического состояния юга Томской области по комплексу природных сред / Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов, Е. Г. Язиков // Актуальные проблемы геохимической экологии: Мат. V Международной биогеохимической школы, Семипалатинск, 8–11 сентября 2005. – Семипалатинск, 2005. – С. 412–415.
22. Барановская, Н. В. Проявленность предприятий ядерно-топливного цикла при исследовании микроэлементного состава волос человека / Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: Докл. 2 Междунар. Науч.-практ. Конф., 16-18 октября 2002 г. – Т.2. – Семипалатинск, 2002. – С.445-448.

23. Барановская, Н. В. Элементный состав биологических материалов и его использование для выявления антропогенно-измененных территорий (на примере южной части Томской области): автореф. дис. ...канд. биол. наук: 03.00.16 / Барановская Наталья Владимировна. – Томск, 2003. – 21 с.
24. Барановская Н.В. Очерки геохимии человека / Н.В. Барановская, Л.П. Рихванов, Т.Н. Игнатова и др. Томский политехнический университет. – Томск: Дельтаплан, 2015. – 378 с.
25. Барахтенова, Л. А. Влияние поллютантов на обмен веществ и состояние сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения: автореф. дисс. д-ра биол. наук: 03.00.16 / Барахтенова Людмила Алексеевна. – Новосибирск, 1993. – 34с.
26. Барашкова, Н. К. Экстремальный режим погоды летом 2012 г. на территории Томской области как отражение современных глобальных климатических тенденций / Н.К. Барашкова, И. В. Кужевская, Д. В. Поляков // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 372. с. 173-179.
27. Баргалы, Р. Биогеохимия наземных растений [пер. с англ.] / Р. Баргалы. – М.: Геос, 2005. – 457с.
28. Безель, В. С. Роль травянистых растительных сообществ в формировании биогенных циклов химических элементов / В. С. Безель, Т. В. Жуйкова // Поволжский экологический журнал. 2010. № 3. с. 219 – 229.
29. Безель, В. С. Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов надземной фитомассой травянистой растительности / В. С. Безель, Т. В. Жуйкова // Экология. – 2007. – № 4. – С. 259–267.
30. Беляева, Л. В. Биохимические показатели для характеристики загрязнения атмосферы и состояния растений / Л. В. Беляева, В. С. Николаевский, Г. А. Маренова // Экологические и физиолого-биохимические аспекты антропогенной нагрузки на растения. – Таллин, 1986. – Т.2. – с. 52-54.
31. Бернатонис, В. К. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота / В. К. Бернатонис // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. — Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. — С. 204-215.
32. Бернатонис, В. К. Токсичные элементы в торфах Томской области / В. К. Бернатонис, В. С. Архипов, В. И. Резчиков // Природокомплекс Томской области: межвузовская региональная научно-техническая программа "Природокомплекс". — Томск: 1990. — С. 39-43.
33. Берчук, В. Ю. Уровни накопления и характер распределения лантаноидов и трансураниевых элементов в вертикальном разрезе пойменных почв протоки Черныльщикова р. Томи / В. Ю. Берчук, Л. П. Рихванов, Ф. Готье-Ляфай // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 170 –178.
34. Беус, А. А. Геохимия окружающей среды / А. А. Беус, Л. И. Грибовская, Н. В. Тихонова. – М.: Недра, 1976. – 248 с.

35. Биоиндикация радиоактивных загрязнений / под ред. Д.А. Криволуцкого. – М.: Наука, 1999. – 384 с.
36. Биологическая роль микроэлементов в жизни растений, животных и человека. – Киев, 1964.
37. Боровик, С. А. Метод количественного определения стронция в золах организмов / С. А. Боровик, Т. Ф. Боровик-Романова // Труды Биогеохимической лаборатории. Т. IV. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1937. с. 259-264.
38. Боуэн, Г. Радиоактивационный анализ / Г. Боуэн, Д. Гиббонс. – М.: Атомиздат, 1968. – 360 с.
39. Брукс, Р. Р. [пер. с англ.] Биологические методы поисков полезных ископаемых / Р.Р. Брукс. – М., 1986. – 312 с.
40. Бруновский, Б. К. Концентрация радия организмами / Б.К. Бруновский // Труды биогеохимической лаборатории АН СССР, 1932, Т.II, с. 9.
41. Бруновский, Б. К. О содержании радия в некоторых растениях / Б.К. Бруновский, К.Г. Кунашева // Докл. АН СССР, серия А. -1930. -№20. С. 75.
42. Бубенчикова, В. Н. Минеральный состав растений рода Лабазник / В. Н. Бубенчикова, Ю.А. Сухомлинов // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2006. № 1. с. 189 – 190.
43. Бубенчикова, В. Н. Сравнительная оценка макро- и микроэлементного состава некоторых видов растений семейств Asteraceae и Rosaceae / В. Н. Бубенчикова, С. В. Логутев, Ю. А. Сухомлинов // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация, 2011, № 2, с. 181 – 184.
44. Булатов, В. И. Россия радиоактивная / В. И. Булатов. Новосибирск, ЦЭРИС, 1996, 271 с.
45. Вернадский, В. И. Биосфера / В. И. Вернадский. – Л.: Гостехиздат, 1926. – 146 с.
46. Вернадский, В. И. Записка об изучении живого вещества с геохимической точки зрения / В. И. Вернадский // Тр. Института растений АН СССР. – 1921. – Сер. 6. – Т. 15. – С. 1–18.
47. Вернадский, В. И. Избранные сочинения / В. И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – Т.1: Очерки геохимии. – 624 с.
48. Вернадский, В. И. Общие соображения к изучению химического состава живого вещества / В. И. Вернадский // Тр. биогеохим. лаб. – 1930. – Т.1. – с. 5-32.
49. Вернадский, В. И. О некоторых фундаментальных проблемах биогеохимии (в связи с работами лаборатории биогеохимии АН СССР) / В. И. Вернадский // Тр. биогеохим. лаб. – 1939. – Т. 5. – С. 5–18.
50. Вернадский, В. И. Очерки геохимии. 7-е (4-е русское) издание / В. И. Вернадский. – М.: Наука, 1983. – 422с.
51. Вернадский, В. И. Проблемы бигеоохимии / В. И. Вернадский. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – Т.1. – 47 с.

52. Вернадский, В. И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры / В. И. Вернадский. – Петроград: Время, 1922. – 48 с.
53. Виноградов, А. П. Биогеохимические методы поисков рудных месторождений. Геохимические поиски рудных месторождений в СССР / А. П. Виноградов, Д. П. Малюга. – М.: Госгеолтехиздат, 1957.
54. Виноградов, А. П. Биогеохимические провинции и эндемии / А. П. Виноградов // Докл. АН СССР. – 1938. – Т. 18, № 4/5. – С. 283–286.
55. Виноградов, А. П. Геохимия живого вещества / А. П. Виноградов. – М.: АН СССР, 1932. – 65 с.
56. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 238 с.
57. Виноградов, А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой / А. П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М., 1952. – С. 7–21.
58. Виноградов, А. П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам / А. П. Виноградов // Тр. биогеохим. лаб. – Т.10. – М.: АН СССР. 1954. – с.3-5.
59. Виноградов, А. П. Химический элементарный состав организмов моря / А.П. Виноградов // Тр. биогеохим. лаб. – 1935. – Т. 3. – С. 63–278.
60. Высокоостровская, Е. Б. Карта радиационных доз естественного гамма-излучения территории России / Е. Б. Высокоостровская, А. И. Краснов, А. А. Смыслов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: мат. междунар. конф., Томск, 22-24 мая 1996г. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 177-179.
61. Гавшин, В. М. ^{137}Cs и ^{210}Pb в озерных отложениях степного Алтая как показатели динамики антропогенных изменений геохимического фона на протяжении XX века / В.М. Гавшин // Геология и геофизика. - 1999. - Т. 40, N 9. - С. 1331 – 1341.
62. Гавшин, В. М. Распределение радионуклидов на территории Алтайского края / В. М. Гавшин, Ф. В. Сухоруков, И. Н. Маликова и др. // Ядерные испытания, окружающая среда и здоровье населения Алтайского края: материалы науч. исслед., Барнаул, 1993. – Барнаул, 1993. – Т.1. – с. 34-71.
63. Гавшин, В. М. Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника / В. М. Гавшин // Геохимия. - 2003. - № 12. - С. 1337-1344.
64. Гвоздецкий, Н. А. Физическая география СССР. Азиатская часть. 2-е изд. испр. и доп. / Н.А. Гвоздецкий, Н. И. Михайлов. - М., Мысль, 1970.
65. Геологическая карта России и прилегающих акваторий / Отв. ред. А.А. Смыслов, 1995 г.

66. Геология СССР. Том XIV. Западная Сибирь (Алтайский край, Кемерово, Новосибирская, Омская, Томская области). Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1967.
67. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
68. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота / В.К. Бернатонис, В.С. Архипов, М.А. Здвижков и др. // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под общ. ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 204-215.
69. Гетко, Н. В. Растения в техногенной среде / Н. В. Гетко // Структура и функция ассимиляционного аппарата. – Минск: Наука и техника, 1989. – 205 с.
70. Гитарский, М. Л. Влияние техногенного загрязнения на состояние сосновых насаждений Кольского Севера: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Гитарский Михаил Леонидович. – М., 1993. – 23с.
71. Глазовский, Н. Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере / Н.Ф. Глазовский // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 7–28.
72. Глазовская, М. А. Биогеохимические циклы в биосфере / М. А. Глазовская. – М.: Наука, 1976. – 370 с.
73. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. – М. : Высшая школа, 1988. – 328 с.
74. Глазовская, М. А. Критерии классификации почв по опасности загрязнения свинцом / М. А. Глазовская // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 110–120.
75. Глебович, Т. А. Бор в море / Т.А. Глебович // Труды Биогеохимической лаборатории, т. 8, 1946, стр. 225.
76. Гордеева О.Н. Распределение и миграция химических элементов в системе почва-растение в природных и техногенных условиях Приангарья: афтореф. дис...канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36 – Геоэкология / Гордеева Ольга Николаевна. – Иркутск, 2013. – 24 с.
77. Грабовская, Л. И. Биогеохимические методы поисков / Л. И. Грабовская // Тр. Госгеолкома, 1965.
78. Грабовская, Л. И. Биогеохимические и геоботанические исследования при поисках редкометальных месторождений / Л. И. Грабовская, Е. Д. Астрахан // Сборник геологических месторождений редких элем., вып. 19. Госгеолтехиздат, 1963.
79. Грабовская, Л. И. Геология месторождений редких элементов / Л. И. Грабовская, Е. Д. Астрахан // Биогеохимические и геоботанические исследования при поисках редкометальных месторождений, вып. 19. – М.: Гос. н-т изд-во лит-ры по геологии и охране недр, 1963. – 64 с.

80. Гребенщикова В.И. Распределение радиоактивных элементов в окружающей среде Прибайкалья (Сообщение 1, Уран) / В.И. Гребенщикова, Н.А. Китаев, Э.Е. Лустенберг, В.И. Медведев, И.С. Ломоносов // Сибирский экологический журнал, 2009. - №1. – С. 17-28.
81. Гребенщикова В.И. Распределение радиоактивных элементов в окружающей среде Прибайкалья (Статья 2. Торий и цезий-137) / В.И. Гребенщикова, Н.А. Китаев, Э.Е. Лустенберг, В.И. Медведев, И.С. Ломоносов, А.Н. Карчевский // Сибирский экологический журнал, 2010. - № 3. – С. 493-503.
82. Гринвуд, А. Химия элементов: в 2-х т./ Н. Гринвуд, А. Эрншо, пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – Т.2. – 670 с.
83. Грунь, В. Д. История угледобычи в России / В. Д. Грунь, В. Е. Зайденварг, В. Г. Килимник и др. – М.: 2003. – 480 с.
84. Добровольский, В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В. В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 265 с.
85. Добровольский, В. В. Геохимическое земледелие: учебн. пос / В. В. Добровольский. – М.: Владос, 2008. – 207с.
86. Домаренко, В. А. Критерии ураноносности Западно-Сибирской плиты / В. А. Домаренко, Е. А. Воробьев, А. К. Мазуров и др. // Уран: Ресурсы и производство: тезисы второго международного симпозиума, г. Москва, 26–28 ноября 2008 г. – М.: ВИМС, 2008. – С.40–42.
87. Евсеева, Л. С. Геохимия урана в зоне гипергенеза / Л. С. Евсеева, А. И. Перельман. – М.: Госатомиздат, 1962. - 239 с.
88. Егорова, И. А. Особенности накопления радионуклидов в растениях северо-западного Алтая / И. А. Егорова, Ю. В. Кислицина, А. В. Пузанов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, № 11 (61), 2009. с. 32 – 38.
89. Егорова, И. А. Содержание Be, Ba, Sr в растениях северо-западного Алтая // И. А. Егорова, Ю. В. Кислицина, А. В. Пузанов // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: мат. VII Междунар. науч.-практич. конф., Семей, 4–8 октября 2012 г. – Семей, 2012. – С. 135-136.
90. Ельчи니нова, О. А. Микроэлементы в лекарственных растениях Горного Алтая / О. А. Ельчи니нова // Материалы 3-й Межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 250-летию вхождения алтайского народа в состав Российского государства (29-30 марта 2006г., г. Горно-Алтайск).- Горно-Алтайск, 2006.-С.346-350.
91. Ермаков, В. В. Биогеохимическая эволюция таксонов биосферы в условиях техногенеза / В. В. Ермаков // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы: тр. биогеохим. лаб. – М. : Наука, 2003. – Т. 24. – С. 5–22.

92. Ермаков В. В. Биогеохимические провинции и их эволюция / В. В. Ермаков, А. П. Дегтярев, Е. В. Кречетова и др. // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2008. – № 3 (7). – С. 3–16.
93. Ермаков, В. В. Геохимическая экология животных / отв. ред. В. Т. Самохин. – М.: Наука, 2008. – 315 с.
94. Ермаков, В. В. Значение биогеохимических циклов макро- и микроэлементов в связи с техногенной эволюцией живого вещества / В. В. Ермаков // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2008. – № 4 (8). – С. 3–15.
95. Ермаков, В. В. Химический элементный состав живого вещества / В. В. Ермаков, С. Ф. Тютиков // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2009. – № 1 (9). – С. 3–21.
96. Ермашова, Н. А. Обобщение материалов по химическому составу питьевых подземных вод в связи с повышенным содержанием в них железа, марганца и других специфических для региона компонентов в пределах юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна (отчет гидрогеохимической партии по работам за 1976–1982 гг.) / Н. А. Ермашова. – Томск: Томская ГРЭ, 1982.
97. Ефимова, М. А. Биоморфологические особенности *Vaccinium Myrtillus* L. *Vaccinium Vitis-Idaea* L. в естественных и антропогенно-нарушенных лесных сообществах Кольского полуострова: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Ефимова Мария Александровна. – Санкт-Петербург, 2007. – 22с.
98. Жуйкова, Т. В. Особенности почв и травянистых растительных сообществ в условиях техногенеза на Среднем Урале / Т. В. Жуйкова, Э. В. Мелинг, С. Ю. Кайгородова и др. // Экология. – 2015. – № 3. – С. 163.
99. Зубарева, О. Н. Влияние выбросов промышленных предприятий в Средней Сибири на сосну обыкновенную: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Зубарева Ольга Николаевна. – Красноярск, 1993. – 21с.
100. Зыкова, И. Д. Минеральный состав надземных органов *Filipendula Ulmaria* (L) Maxim / И. Д. Зыкова, А. А. Ефремов // Сибирский медицинский журнал, 2012, №7, с. 103 – 105.
101. Игнатова, Т. Н. Естественные радиоактивные элементы в органах и тканях человека / Т. Н. Игнатова, Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Мат. III Междунар. конф., 23-27 июня 2009г. – Томск: изд-во ТПУ. 2009.
102. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
103. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение / В. Б. Ильин; отв. ред. А. И. Сысо; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск, 2012.

104. Ильин, В. Б. Элементный химический состав растений / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 127.
105. Исаченко, А. Г. Ландшафты СССР / А. Г. Исаченко. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1985. – 320 с.
106. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
107. Кайзер, М. И. Радионуклиды в почвах и растениях северо-восточного Алтая / М. И. Кайзер, О. А. Ельчининова, Т. М. Майманова и др. // Материалы IV Междунар. конф. «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». – Томск, 2013. – С. 249–251.
108. Калинин, В. А. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях атмосферных промышленных загрязнений и рубки ухода в них: автореф. дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Калинин Валерий Алексеевич. – Свердловск, 1989. – 24с.
109. Карнаухов, В. Н. Люминесцентный метод биоиндикации состояния экосистем / В. Н. Карнаухов, А. С. Керженцев, В. А. Яшин. – Пушкино, Препринт. 1982. – 24 с.
110. Кац, В. Е. Изучение последствий ядерных испытаний и антропогенного загрязнения окружающей среды на территории республики: Отчет о НИР / В. Е. Кац, А. А. Патрин. – Майма: ГП «Алтай-Гео», 1993.
111. Кирсанов, А. А. Золото в организмах / А. А. Кирсанов. – М., 1936г.
112. Кист, А. А. Применение нейтронно-активационного анализа в биологии: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Ташкент, 1964. – 24 с.
113. Ковалевский, А. Л. Биогеохимические поиски полиметаллических месторождений / А. Л. Ковалевский. Сов. геология, - 1975, № 2, с. 108-121.
114. Ковалевский, А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений / А. Л. Ковалевский. – М.: Недра, 1984. – 145 с.
115. Ковалевский, А. Л. Биогеохимия растений и поиски рудных месторождений: дис. док. геол.-мин. наук: 04.00.03 / Ковалевский Александр Леонидович. – М., 1983. –360с.
116. Ковалевский, А. Л. Естественные радиоактивные элементы в растениях Сибири / А.Л. Ковалевский. – Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 1966. -96с.
117. Ковалевский, А. Л. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков / А.Л. Ковалевский, О.М. Ковалевская. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 362 с.
118. Ковалевский, А. Л. Основные этапы формирования биогеохимических методов // Проблемы биогеохимической и геохимической экологии: труды биогеохимической лаборатории / А. Л. Ковалевский. – М.: Наука, 1999. – Т. 2. – С. 68–79.

119. Ковальский, В. В. Геохимическая среда и жизнь / В. В. Ковальский. – М.: Наука, 1982. – 315 с.
120. Ковальский, В. В. Геохимическая экология / В. В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 420 с.
121. Ковальский, В. В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии: избранные труды / отв. ред., авт. вступ. ст. Л. К. Эрнст; сост. Ю. В. Ковальский. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 357 с.
122. Колесник, В. В. Инструментальный нейтронно-активационный анализ биоматериалов и аэрозольных частиц / В. В. Колесник, Н. П. Росляков, А. М. Самонов и др. // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: Труды 3 Всесоюзного совещания. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – С. 68–73.
123. Красилов, Г. А. Моделирование региональных радиоактивных выпадений от воздушных ядерных взрывов / Г. А. Красилов, В. Н. Петров, Д. А. Северов // Труды Междунар. конф. "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях". – М.: 24-26.04.2000г. Т. 1. – С. 231-237.
124. Круглов, Д. С. Элементный состав растений семейства Boraginaceae / Д. С. Круглов, С. В. Овчинникова // Растительный мир Азиатской России, 2012, №1(9), с. 75-95.
125. Крючков, В. В. Лишайники как биоиндикаторы качества окружающей среды в северной тайге / В. В. Крючков, Н. А. Сыроид // Экология. – 1990. - №6. – с. 63-66.
126. Кулиева, Г. А. Транслокация урана-238 из почвы в растения (на примере ячменя): Автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.16 / Кулиева Гюльнара Александровна. – Москва, 2004. – 24 с.
127. Кунашева, К. Г. Содержание радия в растительных и животных организмах / К. Г. Кунашева // Труды биогеохимической лаборатории АН СССР, VII. –М.-Л.: Изд-во АН. 1944. – с. 99-105.
128. Ланина, В. В. Лесовосстановительные процессы в лесонасаждениях, нарушенных рекреацией, индикация состояния / В. В. Ланина // Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. – М.: Наука, 1982. – с. 35-40.
129. Логачёв, В. А. Аналитический обзор данных о влиянии ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне на состояние здоровья населения Республики Горный Алтай / В. А. Логачёв, Л. А. Михалихина, Н. П. Филонов // Бюллетень ЦОИ по атомной энергии. - 1994. -№9-10.-с. 36-45.
130. Логачев, В. А. Радиологические последствия проведения ядерных испытаний на полигонах мира / В. А. Логачев, Л. А. Логачева // Геофизика и проблемы нераспространения. Радиоэкология. Охрана окружающей среды. Вып. 3, 2003, с. 7 – 17.

131. Лукина, Н. В. Типизация лесных экосистем в условиях техногенного загрязнения / Н. В. Лукина, В. В. Никонов // Эколого-географические проблемы Кольского Севера. –Апатиты, 1992. –с.8-9.
132. Мальхотра, С. С. Загрязнение воздуха и жизнь растений / С. С. Мальхотра, А.А. Хан. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – с. 144 – 189.
133. Малюга, Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений / Д. П. Малюга. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 264 с.
134. Малюга, Д. П. О почвах и растениях как поисковом признаке на металлы / Д. П. Малюга // Природа. – 1947. – № 6.
135. Матущенко, А. М. Китайский испытательный полигон Лобнор: анализ аэросиноптических условий переноса примеси / А. М. Матущенко, А. И. Осадчий. – Бюллетень ЦОИ, 1993. – № 9.
136. Межибор, А. М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Межибор Антонина Михайловна. – Томск, 2009.
137. Меннинг, У. Д. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У. Д. Меннинг, У. А. Федер. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.
138. Мешкинова, С. С. Радионуклиды в растениях долины средней Катуни / С.С. Мешкинова // Мир науки, культуры, образования. № 4 (23), 2010, с. 285 – 286.
139. Мешков, Н. А. Медико-социальные последствия ядерных испытаний: монография / Н. А. Мешков, Е. А. Вальцева, Г. М. Аветисов и др. – М.: Воентехиниздат, 2003. – 398 с.
140. Микроэлементы: Библиографический указатель книг и статей, 1950-1961 / под ред. Н. К. Павловой. – Ростов н/Д: Ростовский государственный университет, 1962. – 95 с.
141. Микроэлементы: Библиографический указатель книг и статей, 1961-1965, выпуск III / отв. ред. П.А. Садименко. – Ростов н/Д: Ростовский государственный университет, 1968. – 205 с.
142. Михальчук, А. А. Статистический анализ эколого-геохимической информации: учебное пособие / А. А. Михальчук, Е. Г. Языков, В. В. Ершов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 235 с.
143. Молчанова, И. В. Техногенные радионуклиды в почвах восточно-уральского радиоактивного следа и их накопление растениями различных таксономических групп / И. В. Молчанова, Л. Н. Михайловская, В. Н. Позолотина и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – т. 54, № 1. – С. 77–84.
144. Мотузова, Г.В. Химическое загрязнение биосферы и его последствия / Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова. – М.: Из-во Моск. Ун-та, 2013. – 304 с.

145. Небел, Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир / Б. Небел, пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – Т. 1. – 424 с.
146. Неверова, О. А. Морфобиометрическая диагностика состояния древесных растений и загрязнения атмосферного воздуха города Кемерово / О. А. Неверова // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. – Сыктывкар, 2001. – с. 137.
147. Неверова, О. А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды / О. А. Неверова // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», т.1, № 1, 2009. с. 82 – 92.
148. Неверова, О. А. Фитомониторинг и его сопоставление с результатами долгосрочного моделирования атмосферной диффузии / О. А. Неверова, А.А. Быков, С.А. Морозова // Проблемы региональной экологии. – Екатеринбург: Аквапресс, 2001. - №2. –с. 36-43.
149. Несветайлова, Н. Г. Геоботанические исследования при поисках рудных месторождений / Н. Г. Несветайлова // Тр. ВАГТ. – Вып. 1. – 1955.
150. Николаевская, Т.В. Биофизический метод биоиндикации загрязнения природной среды / Т.В. Николаевская // Методология экологического нормирования. Ч.2. – Харьков, 1990. – с. 96.
151. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В.С. Николаевский. –М.: МГУЛ, 1999. – 193 с.
152. Отчет о деятельности АН СССР в 1932 г. Л., 1933. С. 107-108.
153. Панин, М. С. Химические элементы в компонентах окружающей среды некоторых промышленных центров восточного Казахстана / М. С. Панин // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы. Тр. Биогеохим. лаб. – М.: Наука, 2003. – Т. 24. – С. 88–112.
154. Парначев, В. П. Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска / В. П. Парначев, С. В. Парначев. - Томск: Томский государственный университет, 2010. 144 с.
155. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1975. – 341 с.
156. Петрунина, Н. С. Биогеохимический мониторинг природно-техногенных аномалий: критерии отбора и оценки растительного материала / Н. С. Петрунина, Е. А. Карпова // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы: Мат. 3-й Рос.биогеохим. школы, Горно-Алтайск, 4-8 сентября 2000. – Новосибирск, 2000. – С. 129–139.
157. Петрунина, Н.С. Геохимическая экология растений в условиях полиметаллических биогеохимических провинций/ Н. С. Петрунина, В. В. Ермаков, О. В. Дегтярева //

- Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Тр. Биогеохим. лаб.– М.: Наука, 1999. – Т. 23. – С. 226–252.
158. Позолотина, В. Н. Биоиндикация радионуклидного загрязнения экосистем с помощью растений / В. Н. Позолотина, Е. В. Ульянова, И. Е. Сарапульцев // Урал. Радиация. Реабилитация / под ред. В. Н. Чуканова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – С. 183–200.
 159. Позолотина, В. Н. Миграция и биологическое действие на растения тяжелых естественных радионуклидов / В. Н. Позолотина, П. И. Собакин, И. В. Молчанова и др. // Экология. – 2000. – №1. – С. 17–23.
 160. Позолотина, В. Н. Пути адаптации растительных популяций к токсическому загрязнению среды / В.Н. Позолотина, Е.В. Антонова, В.С. Безель // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы III Междунар. конф., г. Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск : STT, 2009. – С. 456–459.
 161. Поликарпочкин, В. В. Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых / В. В. Поликарпочкин, Р. Т. Поликарпочкина. – М.: Наука, 1964. – 106с.
 162. Поликарпочкин, В. В. Геохимические методы поисков рудных месторождений / В. В. Поликарпочкин. – Изд-во «Наука», Сибирское отд-ние, 1982.
 163. Последствия радиационного воздействия ядерных испытаний на население Алтайского края и меры по его социальной защите / Под общ.ред. С. К. Шойгу. Барнаул, 2003. - 500 с.
 164. Пузанов, А. В. Загрязнение окружающей среды под влиянием горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятий Алтая / А. В. Пузанов, Ю. В. Робертус, И. В. Горбачев и др.// Проблемы региональной экологии. – 2008. – № 6. – С. 28-32.
 165. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств. Ежегодник. – Обнинск, 2011. – 282 с.
 166. Разумовский, С. М. Изучение сукцессий как способ биоиндикации антропогенных воздействий / С. М. Разумовский, Л. Б. Рыбалов, А. Л. Тихомирова // Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья. –М.: Наука, 1982. – с. 17-22.
 167. Ратынский, В. М. Германий в углях / В. М. Ратынский //Тр. Биогел АН СССР. 1946. Т. VIII. С. 183-223.
 168. Рихванов, Л. П. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиоэкологической ситуации / Л. П. Рихванов, Т. А. Архангельская, Ю. Л. Замятина. — Томск: Изд-во ТПУ, 2015.
 169. Рихванов, Л. П. Исследование уровня и динамика накопления делящихся радионуклидов в годовых кольцах деревьев / Л. П. Рихванов, Т. А. Архангельская, В. Д. Несветайло // Геохимия. – 2002. – № 11. – С. 1238–1245.

170. Рихванов, Л. П. Исследование изменения геохимических свойств биосферы с использованием последовательно образующихся природных образований / Л.П. Рихванов, Т.А. Архангельская, Ю.Л. Замятина и др. // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: матер. Всерос. науч. конф. (с участием иностранных ученых); в 3 томах. – Иркутск, 24–30 сент. 2007. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. – Т. 1. – С. 223–227.
171. Рихванов, Л. П. К вопросу об оценке состояния минерально-сырьевой базы Республики Алтай / Л. П. Рихванов // Минерально-сырьевая база Республики Алтай: состояние и перспективы развития. Материалы регионального совещания. Горно-Алтайск: ГАГУ, РИО «Универ-Принт», 1998, 120 с.
172. Рихванов, Л. П. К геохимии живого вещества / Л. П. Рихванов, Н. В. Барановская, Т. Н. Игнатова // Актуальные проблемы геохимической экологии: сб. докл. IV Международной научно-практической конференции. – Семипалатинск, 2006. – С. 19–40.
173. Рихванов, Л. П. К геохимии техногенеза / Л. П. Рихванов // Актуальные проблемы геохимической экологии: Мат. V Междунар. биогеохим. школы, Семипалатинск, 8-11 сентября 2005 г. – Семипалатинск: Семипалатинский государственный педагогический университет, 2005. – С. 48–52.
174. Рихванов, Л. П. Некоторые особенности радиоактивного загрязнения территории Горного Алтая / Л. П. Рихванов, Ю. В. Робертус // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Матер. IV Межд. конфер. – Томск: «Тандем-Арт», 2004. – С. 769–771.
175. Рихванов, Л. П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии / Л. П. Рихванов. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
176. Рихванов, Л. П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиоэкологии: учебное пособие / Л. П. Рихванов. — Томск: STT, 2009. — 430 с.
177. Рихванов, Л. П. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения – как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л. П. Рихванов, С. С. Кропанин, С. А. Бабенко и др. – Кемерово: Сарс, 2001г. – 214 с.
178. Робертус, Ю. В. Радиоэкологическая обстановка на территории Республики Алтай / Ю. В. Робертус // Материалы IV Международной конференции. – Томск, 2013. – С. 456–460.
179. Рожков, А. С. Действие фторсодержащих эмиссий на хвойные деревья / А. С. Рожков, Т. А. Михайлова. – Новосибирск: Наука, 1989. – 157 с.
180. Ружицкая, С. С. Влияние антропогенных факторов на рост основных древесных пород: автореф. дисс. канд. биол. наук:03.00.16 / Ружицкая С. С. – М.: 1969. – 20с.
181. Рысин, Л. П. Еловые леса России / Л. П. Рысин, Л. И. Савельева. – М.: Наука, 2002. – 335 с.

182. Сабилов, Р. Н. Оценка техногенных эмиссий на лесные биогеоценозы дендрохронологическим методом / Р. Н. Сабилов // Экотоксикология и охрана природы. – Рига, 1988. – с. 151 – 153.
183. Саенко, Г. Н. Концентрационная функция живого вещества / Г. Н. Саенко // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии (Тр. Биогеохим. лаб., т. 23). – М.: Наука, 1999. – С. 38–47.
184. Саенко, Г. Н. Металлы и галогены в морских организмах / Г. Н. Саенко. – М.: Наука, 1992. – 200 с.
185. Саев, Ю. Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений / Ю. Е. Саев. – М., Наука, 1982.
186. Саев, Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саев, Б. А. Ревич, Е. П. Янин. – М.: Недра, 1990, -335 с.
187. Саев, Ю. Е. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ю. Е. Саев. – М., 1982. – 66 с.
188. Сайккели, С. Загрязнение воздуха и жизнь растений / С. Сайккели, Л. Каренлампи. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – с. 190 – 205.
189. Сапунов, В. Б. Популяционный стресс как биологический индикатор экологических нарушений / В. Б. Сапунов // Биологическая индикация в антропоэкологии. – Л.: Наука, 1984. – с. 195 – 199.
190. Селегей, В. В. Радиоактивное загрязнение г. Новосибирска – прошлое и настоящее / В.В. Селегей. 1997. 147 с.
191. Селиванов, Л. С. Геохимия и биогеохимия рассеянного брома. 1. Бром в растениях и пресных водах. 3. Бром в наземных растениях. / Л. С. Селиванов // Тр. биогеохимической лаборатории. М.; Л., 1939 - Т. 5.- С.113 - 122, 145 -149.
192. Селиванов, Л. С. Геохимия и биохимия рассеянного брома. / Л. С. Селиванов // Тр. Биогеохим. лаб. М.; Л.,1946. - Т.8.- С.5 - 72.
193. Сергейчик, С. А. Устойчивость и поглотительная способность древесных растений к газообразным загрязнителям атмосферы в условиях Белоруссии: автореф. дисс. д-ра биол. наук: 03.00.16 / Сергейчик Светлана Александровна. – Новосибирск, 1988. – 33с.
194. Сибирский химический комбинат: [Электронный ресурс]. URL: <http://atomsib.ru/> (Дата обращения: 20.11.2014).
195. Симорин, А. М. Проблема Кашин-Бековской (Уровской) эндемии в Восточном Забайкалье / А. М. Симорин // Вестник АН СССР, 1936. № 1. с. 81-90.
196. Смит, У. Х. Лес и атмосфера / У. Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985. – 429 с.
197. Соболев, И. С. Отражение глубинного строения юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в элементном составе осадочных пород дневной

- поверхности / И. С. Соболев, Е. М. Чернев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 3. – С. 21–29.
198. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипова, В.А. Бугров и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
 199. Страховенко, В. Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озер Сибири автореф. дис. ... док. геол.-мин. наук: 25.00.09 / Страховенко Вера Дмитриевна. – Новосибирск, 2011. – 33 с.
 200. Сухоруков, Ф.В. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей / Ф. В. Сухоруков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004.
 201. Сысо, А. И. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири / А. И. Сысо, В. Б. Ильин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 33–36.
 202. Тимофеева, А. В. Использование дендрохронологического метода для оценки степени атмосферного загрязнения в пригородных лесах Тольятти / А. В. Тимофеева // Леса Русской равнины. – М., 1993. – с. 215 – 217.
 203. Ткалич, С. М. Некоторые общие закономерности содержания химических элементов в золе растений / С. М. Ткалич // Биогеохимические поиски рудных месторождений. – Улан-Удэ : Изд-во СО АН СССР, 1969. – С.83–90.
 204. Ткалич, С. М. Опыт исследования растений в качестве индикаторов при геологических поисках и разведке / С. М. Ткалич // Вести. – Владивосток: Дальневост. фил. АН СССР. – 1938 – №32 (5).
 205. Ткалич, С. М. Поиски месторождений полезных ископаемых с помощью растений / С. М. Ткалич. – Иркутск: Общество по распространению политических и научных знаний РСФСР; Главное управление геологии и охраны недр при совете министров РСФСР; Иркутское геологическое управление, 1960.
 206. Ткалич, С. М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений / С. М. Ткалич. – М.: Государственный научно-исследовательский институт литературы по геологии и охране недр, 1959. – 52 с.
 207. Ткалич, С. М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых / С. М. Ткалич. – Л.: Недра, 1970. – 175 с.
 208. Токарева Т. Г. Экологическая оценка техногенного воздействия на еловые леса Кольского полуострова: дисс. канд. биол. наук: 03.00.16 / Токарева Татьяна Георгиевна. – М., 1992. - 165 с.
 209. Трансурановые элементы в окружающей среде: пер. с англ. / под ред. У.С. Хэнсона. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.
 210. Трубина, М. Р. Содержание тяжелых металлов в плодах дикорастущих растений в зоне азротехногенного воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (Свердловская

- область) / М. Р. Трубина, С. В. Мухачева, В. С. Безель, Е. Л. Воробейчик // Растительные ресурсы. – 2014. – Т. 50. – № 1. – С. 67–83.
211. Удачин, В. Н. Химический состав атмосферных осадков южного Урала / В. Н. Удачин, М. Джейджи, П. Г. Аминов и др. // Естественные и технические науки. – М.: издат. «Спутник+», 2010. – № 6. – С. 304–311.
212. Удачин, В. Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза южного Урала: Автореф. дис. док. геол.-мин. наук: 25.00.09 / Удачин Валерий Николаевич. – Томск, 2012. – 44 с.
213. Уткин, В. И. Особенности радиационной обстановки на Урале / В. И. Уткин, М. Я. Чеботина, А. В. Евстигнеев и др. – Екатеринбург, 2004.
214. Ферсман, А. Е. Геохимия / А. Е. Ферсман. – Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1937. – Т. 3. – 503 с..
215. Фетисова, Ю. Л. Применение метода осколочной радиографии для реконструкции радиационной обстановки на территории Красноярского края / Ю. Л. Фетисова, Т. А. Архангельская, В. В. Коваленко и др. // Вестник КрасГУ, 2005, с. 182 – 187.
216. Филимоненко, Е. А. Минералогия пылевых аэрозолей в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска / Е. А. Филимоненко, А. В. Таловская, Е. Г. Языков и др. // Фундаментальные исследования, № 8, 2013. – с. 760-765.
217. Черненко, Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т. В. Черненко. – М.: Наука, 2002. – 191 с.
218. Черняев, Е. В. Твердые полезные ископаемые Томской области / Е. В. Черняев, В. К. Бернатонис, Г. Ю. Боярко // Материалы Международной конференции «100 лет на службе науки и производства». Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. Томск: ТПУ, 2001. С. 361–368.
219. Шилова, И. В. Химический состав растений Сибири и разработка ноотропных средств на их основе: Автореф. дис. док.фармац. наук: 14.04.02 / Шилова Инесса Владимировна. – Пятигорск, 2010. – 48 с.
220. Шипунов, Ф. Я. Организованность биосферы / Ф. Я. Шипунов. – М.: Наука, 1980. – 291 с.
221. Школьник, М. Я. Функциональные болезни и явления изменчивости растений в связи с избыточностью или недостаточностью макро- и микроэлементов в различных биогеохимических провинциях / М. Я. Школьник // Труды биогеохимической лаборатории. – 1960. – Т. XI. – С. 34–42.
222. Шуберт, Р. Возможности применения растительных биоиндикаторов в биолого-технической системе контроля окружающей среды / Р. Шуберт // Разработка и внедрение на комплексных фоновых станциях методов биологического мониторинга. Т. 1. – Рига: Зинатне, 1983. – с. 89-98.

223. Щеглов, А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах / А. И. Щеглов. -М., 1999.
224. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л. П. Рихванов, Е. Г. Язиков, Ю. И. Сухих и др. – Томск: Курсив, 2006. – 216 с.
225. Эмсли, Дж. Элементы / Дж. Эмсли, пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 256 с.
226. Язиков, Е. Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская, Л. В. Жорняк. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. – 264 с.
227. Язиков, Е. Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра. геол.-минерал. наук: 25.00.36 / Язиков Егор Григорьевич. – Томск, 2006. – 47 с.
228. Anttila, A. Concentrations of ^{137}Cs in summer pasture plants that reindeer feed on in the reindeer management area of Finland / A. Anttila, A. P. Leppanen, K. Rissanen // J. Environ. Radioact. vol. 102, 2011. p. 659-666.
229. Bowen, N. J. M. Trace elements in biochemistry / N. J. M. Bowen. – London; New York: Academic Press, 1966. – 241 p.
230. Bowen, N. J. M. Environmental chemistry of the elements / N. J. M. Bowen. – London ; New York : Academic Press, 1979. – 333 p.
231. Bowen, N. J. M. Problems in the elementary analysis of standard biological materials / N. J. M. Bowen // J. Radioan. Chem. – 1974. – Vol. 19. – P. 215–226.
232. Brooks, R. R. Biological methods of prospecting for minerals / R. R. Brooks. – New York: Wiley, 1983. – 322 p.
233. Brooks, R. R. Botanical and geochemical exploration studies at the Seruwila copper-magnetite prospect in Sri Lanka / R. R. Brooks, A. J. M. Baker, R. S. Ramakrishna, D. E. Ryan // Journal of Geochemical Exploration. – 1985. – Vol. 24. – pp. 223–235.
234. Brooks, R. R. Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration / R. R. Brooks. – New York: Harper and Row, 1972. – 290 p.
235. Brundin, N. H. Biogeochemical studies of plants from stream banks in Northern Sweden / N. H. Brundin J. I. Ek, O. C. Selinus // Journal of Geochemical Exploration. – 1987. – Vol. 27. – pp. 157–188.
236. Burkser, E. Versuche in der Bestimmung von Radiumelementen in Pflanzen III / E. Burkser, W. Kondoguri, W. Miglenska // Biochemische Zeitschrift. – Berlin : Springer-Verlag, 1931. – Bd. 233. – S. 58–61.
237. Cannon, H. L. Botanical prospecting for ore deposits / H. L. Cannon // Science. – 1960. – Vol. 132. – pp. 591–598.

238. Cannon, H. L. Contamination of vegetation by Tetraethyl Lead / H. L. Cannon, J. M. Bowles // Science. – 1962. – Vol. 137 (3532). – P. 765–766.
239. Damiens, M. A. Etude du system iode – tellurium / M. A. Damiens // Bull. Soc. Chim. Fr. – 1921 – Vol. 29. – P. 512–528.
240. Delaney, M. S. The relative uptake of Pu (IV) and Pu (VI) oxidation states from water by bushbeans / M.S. Delaney, C.W. Francis // Health Phys. – 1978. – 34. – P. 492–494.
241. Evans, R. D. The radium and radon content of Pacific Ocean, water, life and sediments / R. D. Evans, A. F. Kip, E. G. Moberg // Am. J. Sci., 36, p. 249-259.
242. 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.
243. Gautthier-Lafaye, F. Radioisotop contaminations from releases from the Tomsk-Seversk nuclear facility (Siberia, Russia) / F. Gautthier-Lafaye, L. Pourcelot, J. Eikenberg // J. Environ. Radioactiv. – 2007. – Vol. 98. – P. 301–314.
244. Hardy, E. P. Global inventory and distribution of fallout plutonium / E. P. Hardy, P. W. Krey, H. L. Volchok // Nature 241. – 1973. – C. 444–445.
245. Herpin, U. Retrospective analysis of heavy metal concentrations at selected locations in the Federal Republic of Germany using moss material from a herbarium / U. Herpin, B. Markert, V. Weckert // The Science of the Total Environment, vol. 205, 1997, p. 1-12.
246. Hoffman, J. Urankonzentration der in beziehungstehen den organe: hirnanhang, schildrse, keimdrsen, nebenniere und bauchspeicheldrse / J. Hoffman, // Biochemische Zeitschrift. – Berlin, Springer-Verlag, 1943. – Bd. 315, Heft 1–2. – S. 26–30.
247. Ikäheimonen, Tarja K. STUK-A-194. Determination of transuranic elements, their behaviour and sources in the aquatic environment / Tarja K. Ikäheimonen. Helsinki 2003, 82 p.
248. Lavoie, C. Biological collections in an ever changing world: Herbaria as tools for biogeographical and environmental studies / C. Lavoie // Perspectives in Plant Ecology, Evolutions and Systematics, vol. 15, 2013, p. 68-76.
249. Markert, B. Establishing of “Reference plant” for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting / B. Markert // Water, soil and air pollution. – 1992. – Vol. 64. – P. 533–538.
250. Markert, B. Instrumental Element and multi-element analysis of plant samples, methods and applications / B. Markert. – John Wiley & Sons, 1996. – 296 p.
251. Markert, B. A. Definitions, strategies and principles for bioindication, biomonitoring of the environment / B. A. Markert, A. M. Breure, H. G. Zechmeister. In: Markert B. A., Breure A. M.,

- Zechmeister H. G. (Eds.), *Bioindicators and Biomonitors*. – Amsterdam: Elsevier Science, 2003. – pp. 3–39.
252. Markert, B. A. *Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment* / B. A. Markert. – Weinheim: VCH, 1993. – 644 p.
 253. Mihalik, J. Fractionation of ^{137}Cs and Pu in natural peatland / J. Mihalik, M. Bartuskova, Z. Holgye, et. al. // *Journal of Environmental Radioactivity* 134 (2014), p.14-20.
 254. Minganti, V. Temporal trends (1981-2007) of trace and rare earth elements in the lichen *Cetraria islandica* (L.) Ach. from Italian herbaria / V. Minganti, G. Drava, De R. Pellegrini // *Chemosphere*, vol. 99, 2014, p. 180-185.
 255. Olivier, S. Plutonium from Global Fallout Recorded in an Ice Core from the Belukha Glacier, Siberian Altai / S. Olivier, S. Bajo, L. K. Fifield et.al.// *Environ. Sci. Technol.*, 2004, 38 (24), p. 6507–6512.
 256. Outola, L. Effect of industrial pollution on the behaviour of $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am and ^{137}Cs in forest ecosystems: academic dissertation / L. Outola. – Helsinki, 2002. – 46 c.
 257. Paatero, J. Transfer of plutonium, americium and curium from fallout into reindeer after the Chernobyl accident / J. Paatero, T. Jaakkola // *Boreal environment research* 3, Helsinki 6 November 1998, p. 181–189.
 258. Reimann, C. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1 500 000-km² area in Northern Europe / C. Reimann, F. Koller, B. Frengstad // *The Science of the Total Environment* 278 (2001). – C. 87–112.
 259. Schell, W. R. Geochemistry of transuranic elements at Bikini atoll / W. R. Schell, F. G. Lowman, R. P. Marshall // *Transuranic elements in the environment*. Rep. DOE/TIC-22800, Technical information centre, US Department of Energy, Oak Ridge, TN, 1980.
 260. Shotbolt, L. Reconstructing temporal trends in heavy metal deposition: Assessing the value of herbarium moss samples / L. Shotbolt, P. Buker, M. R. Ashmore // *Environmental Pollution*, vol. 147, 2007, p. 120-130.
 261. Skwarzec, B. Accumulation of Uranium (^{234}U and ^{238}U) and Plutonium ($^{239+240}\text{Pu}$) in Cervid Tissues and Organs / B. Skwarzec, A. Boryło, M. Prucnal ets. // *Polish J. of Environ. Stud.* – 2010. – Vol. 19, № 4. – C. 771–778.
 262. United States Nuclear Tests July 1945 through September 1992. U.S. Department of Energy Nevada Operations Office, 2000.
 263. Vinichuk, M. Cesium (^{137}Cs and ^{133}Cs), potassium and rubidium in macromycete fungi and sphagnum plants / M. Vinichuk, A. Dahlberg, K. Rosén // *Radioisotopese Applications in Physical Sciences*. InTech, 2011. Rijeka, pp. 279-310.

264. Warren, H. V. Further studies in biogeochemistry / H. V. Warren, R. E. Delavault // GSA Bull. – 1949. – Vol. 60 (3). – P. 531–560.
265. Weiss, D. Sphagnum mosses as archives of recent and past atmospheric lead deposition in Switzerland / D. Weiss, W. Shotyk, J. D. Kramers // Atmospheric Environment, vol. 33, 1999, p. 3751-3763.

Гистограммы распределения химических элементов

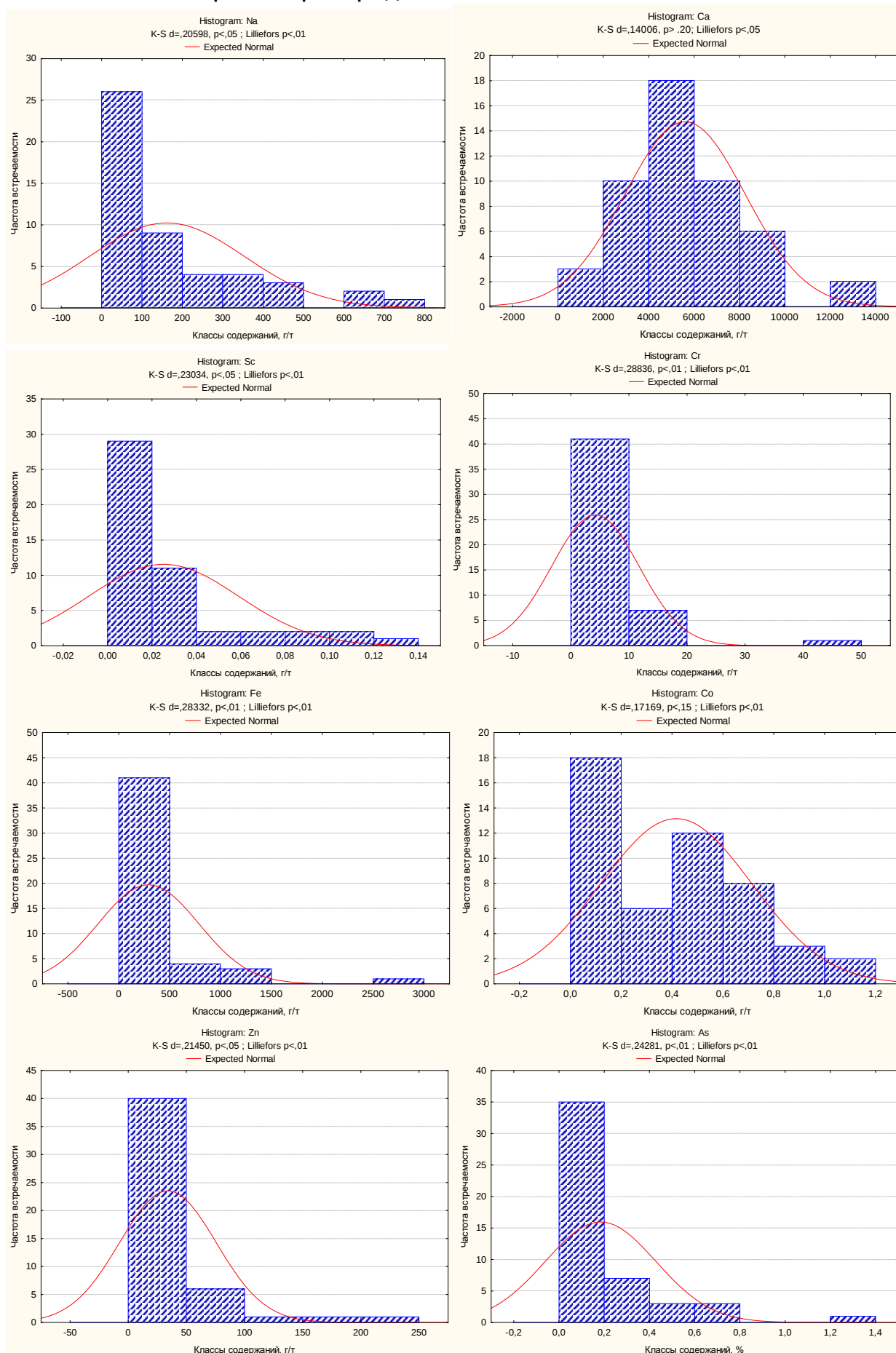


Рисунок А.1 – Гистограммы распределения Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

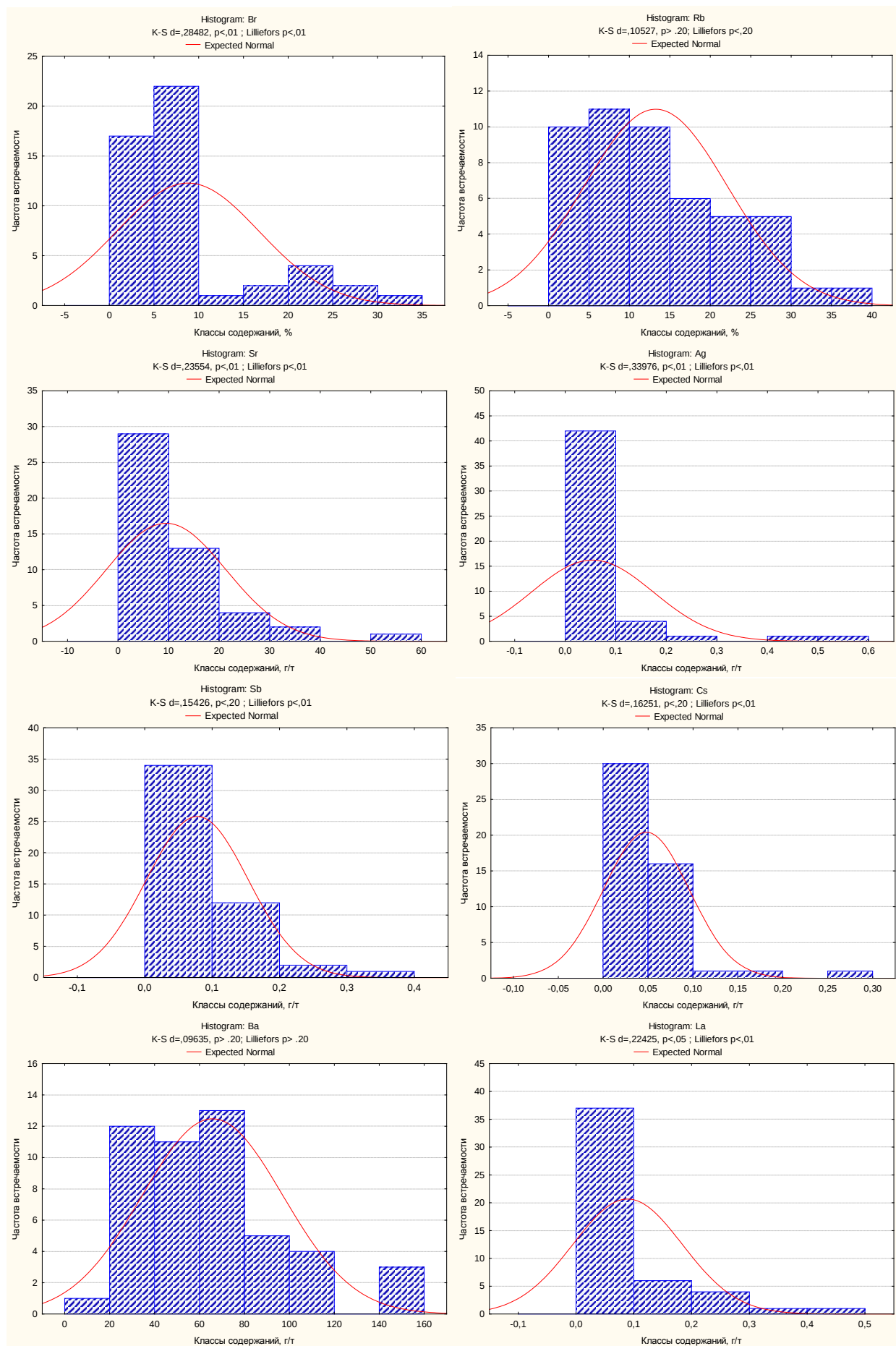


Рисунок А.2 – Гистограммы распределения Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

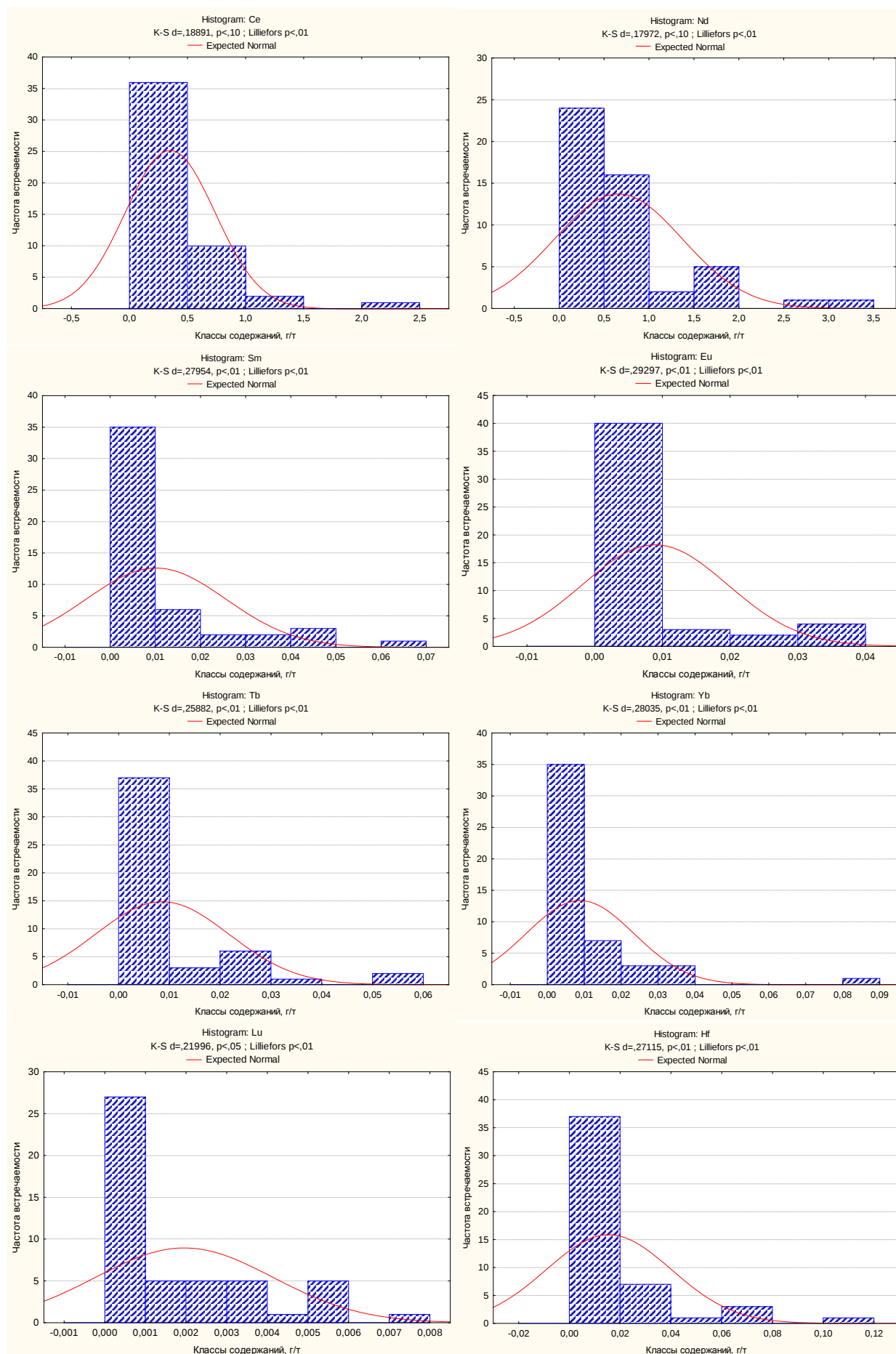


Рисунок А.3 – Гистограммы распределения Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

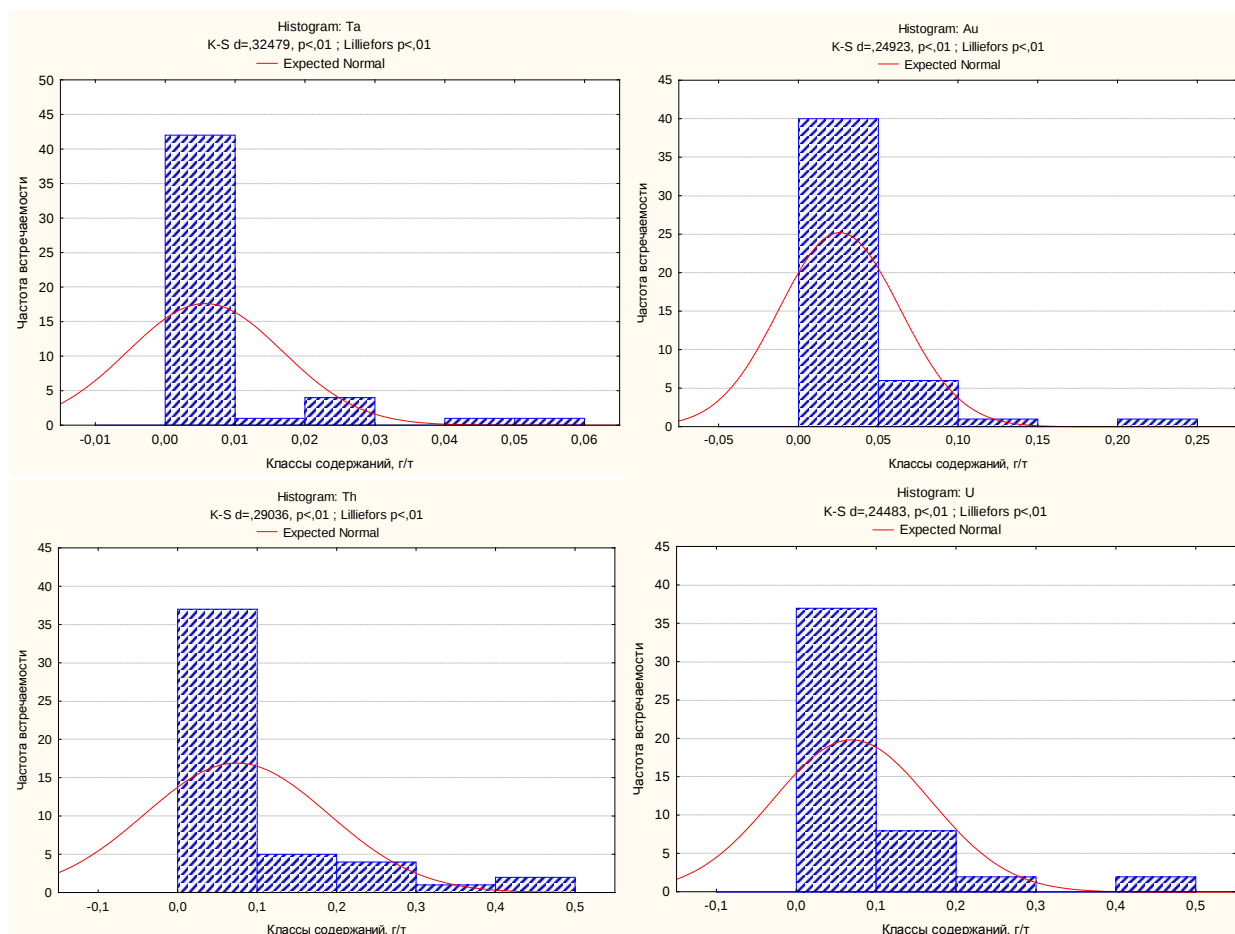


Рисунок А.4 – Гистограммы распределения Ta, Au, Th, U в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

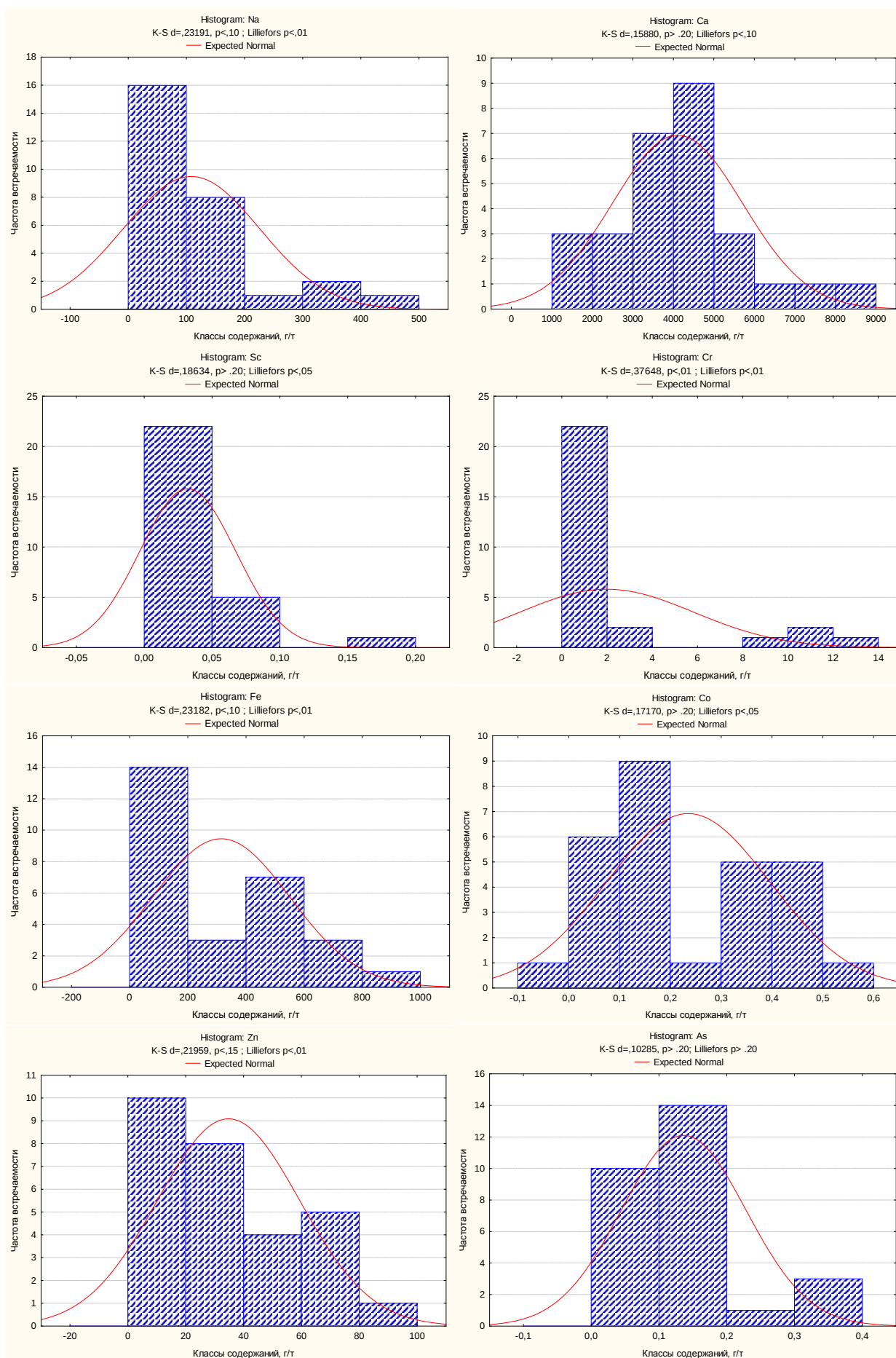


Рисунок А.5 - Гистограммы распределения Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

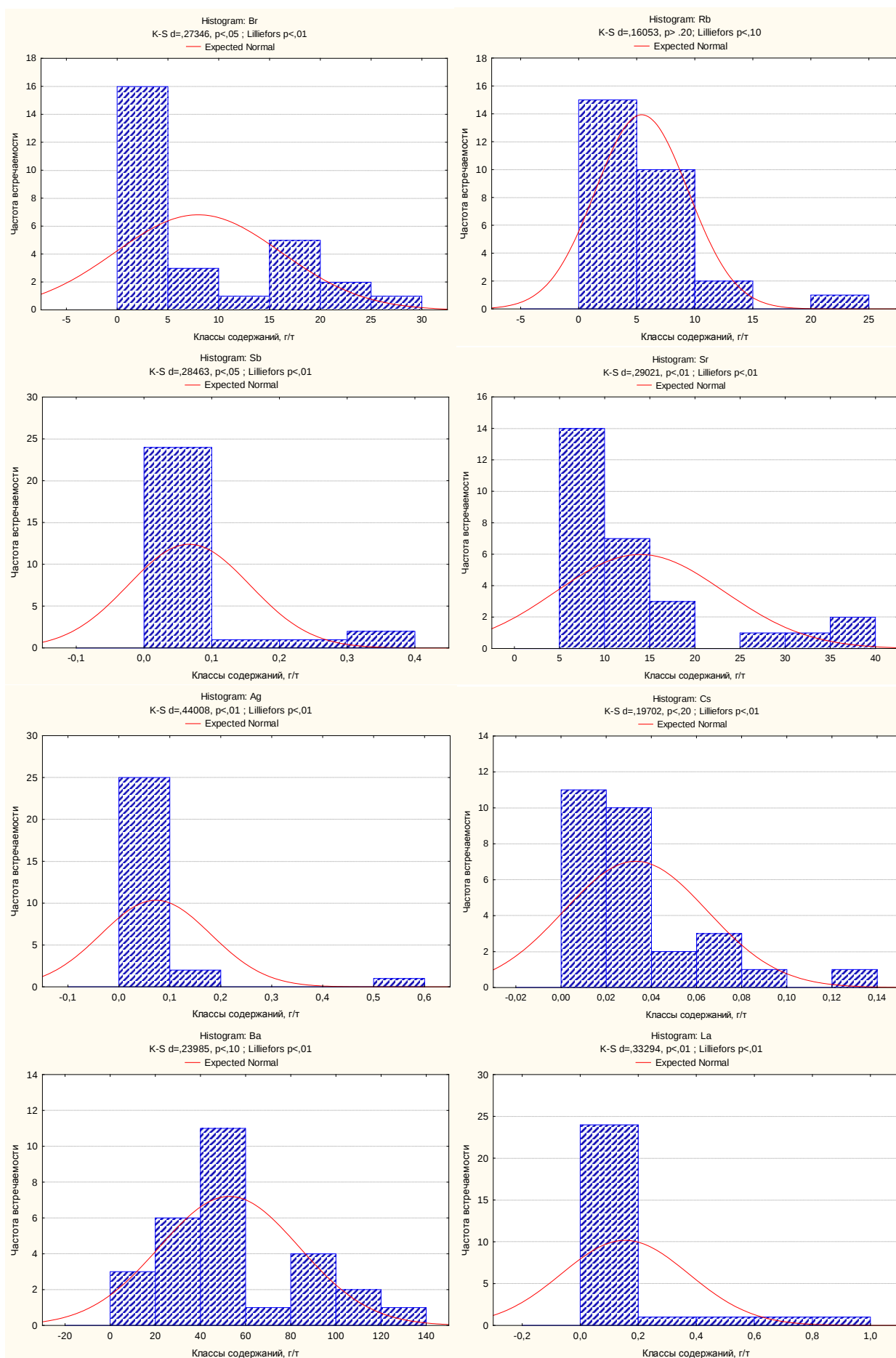


Рисунок А.6 - Гистограммы распределения Br, Rb, Sb, Sr, Ag, Cs, Ba, La в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

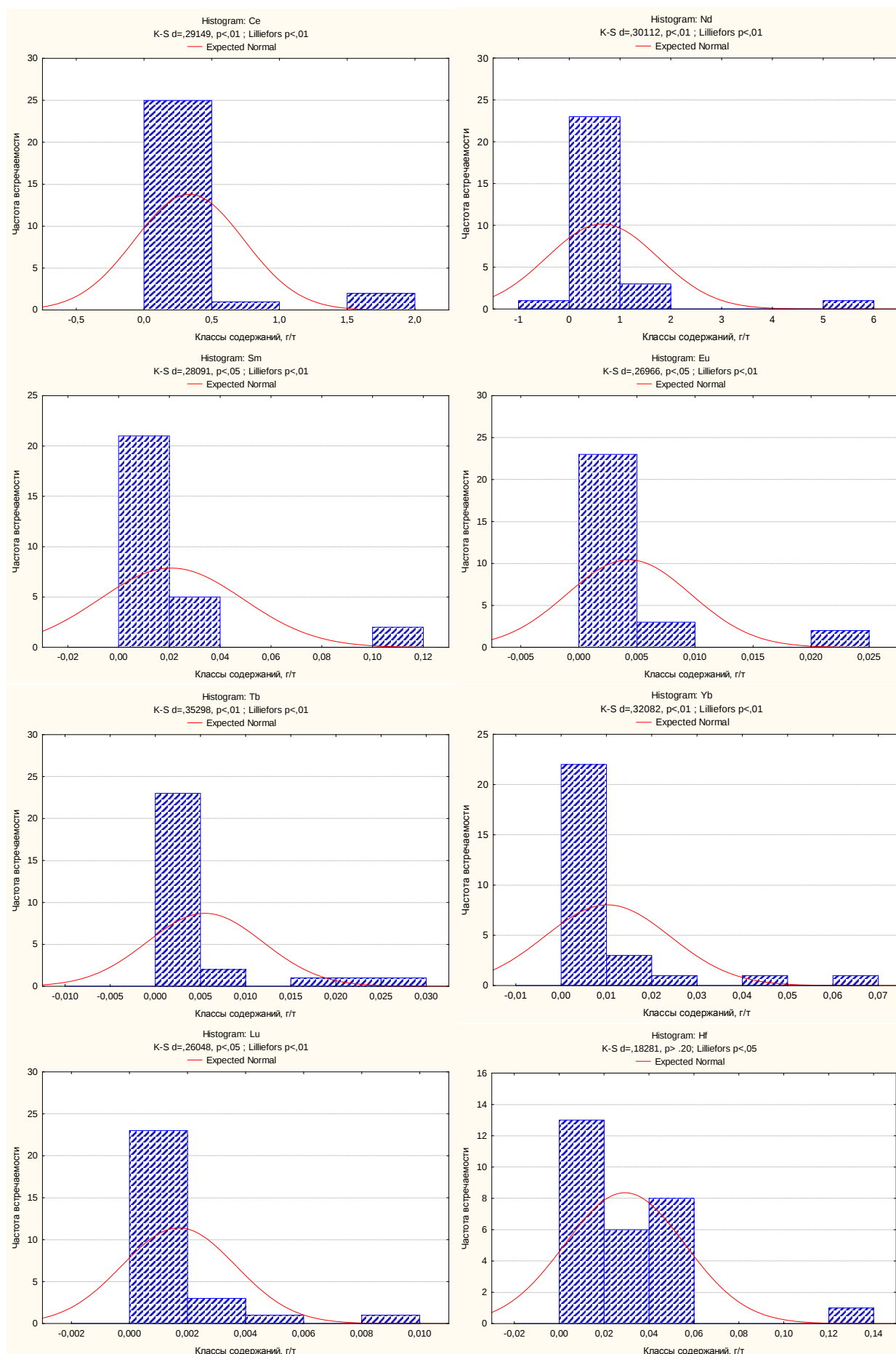


Рисунок А.7 - Гистограммы распределения Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

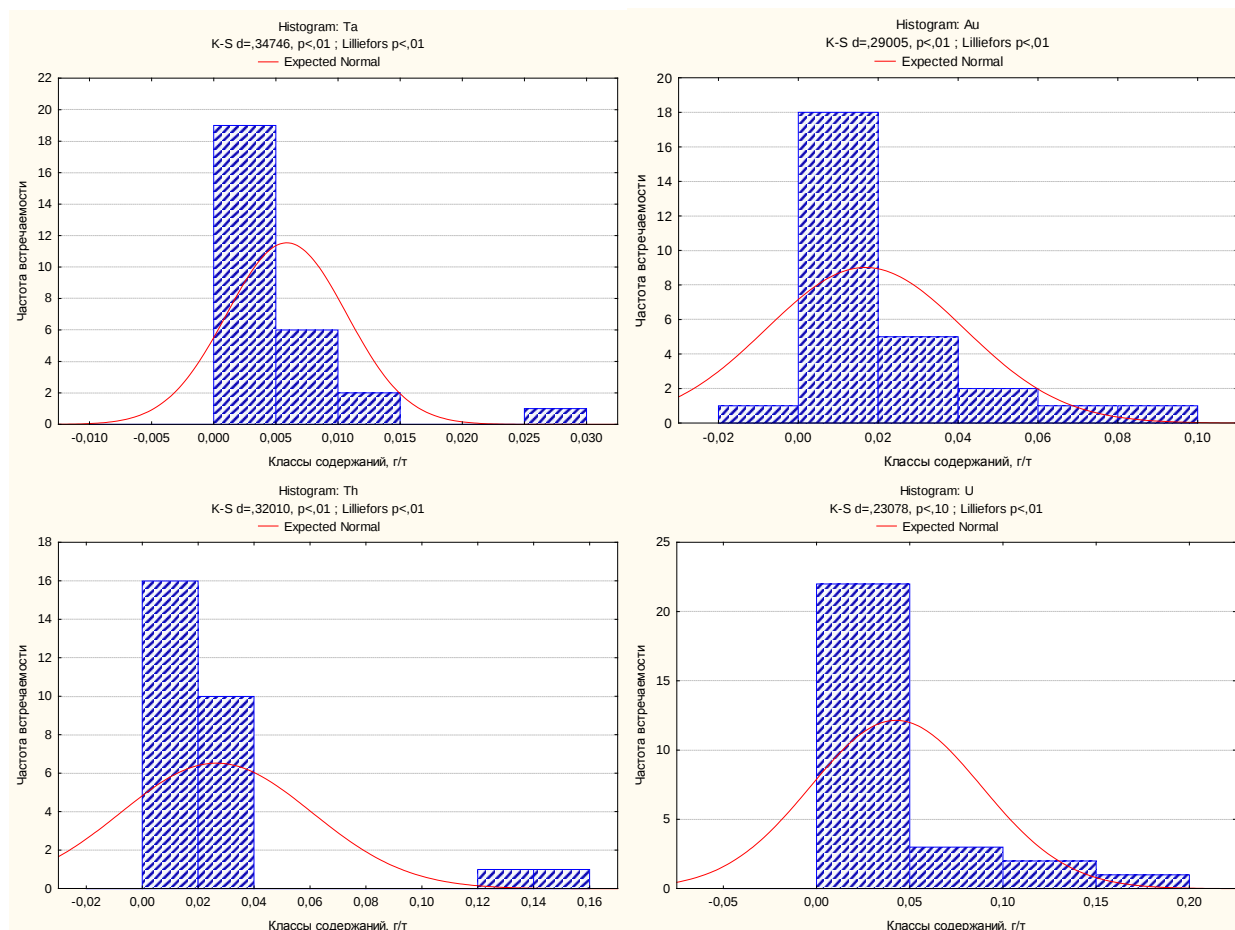


Рисунок А.8 - Гистограммы распределения Ta, Au, Th, U в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

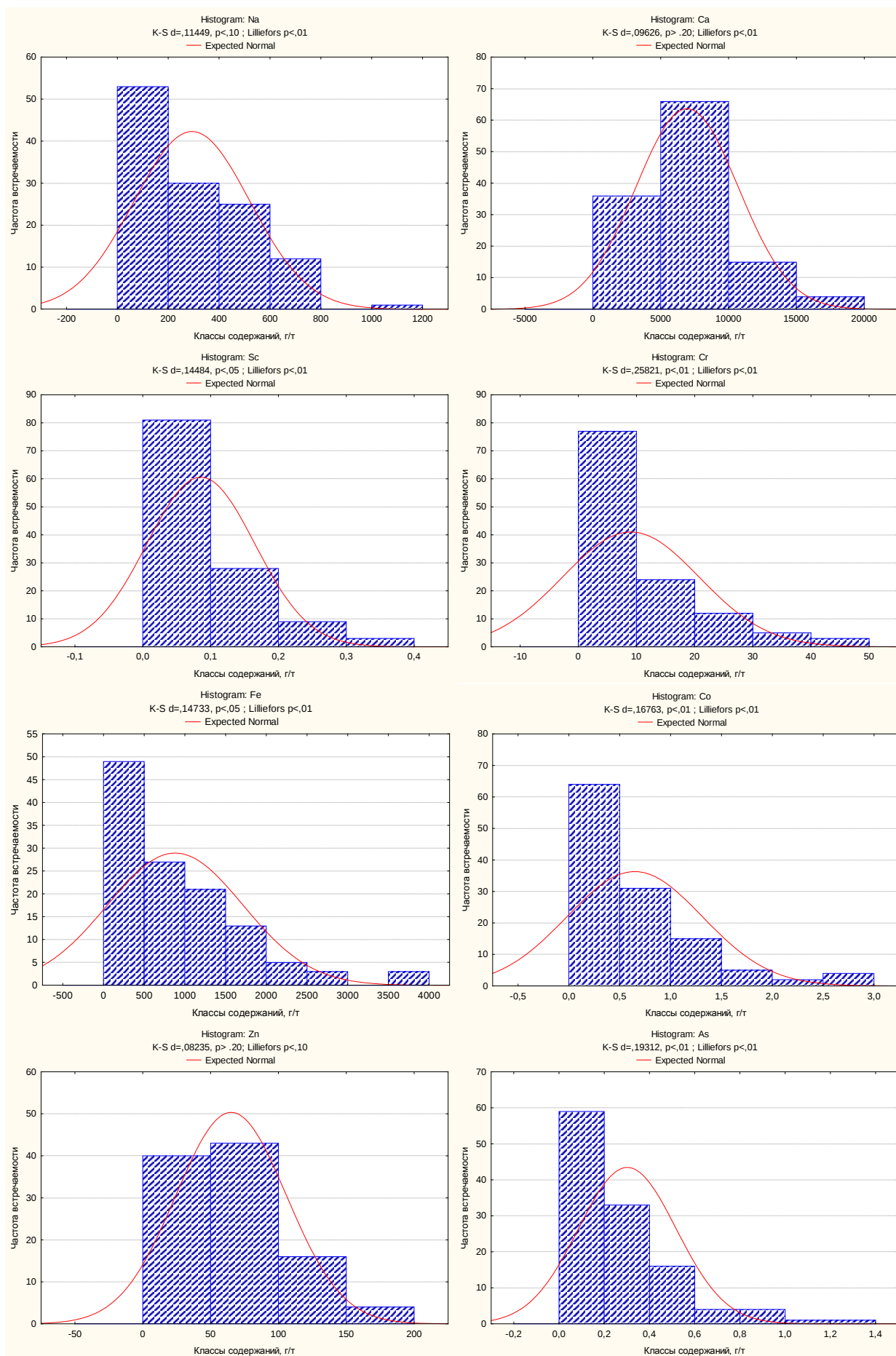


Рисунок А.9 - Гистограммы распределения Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As в лабазнике
взюлистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

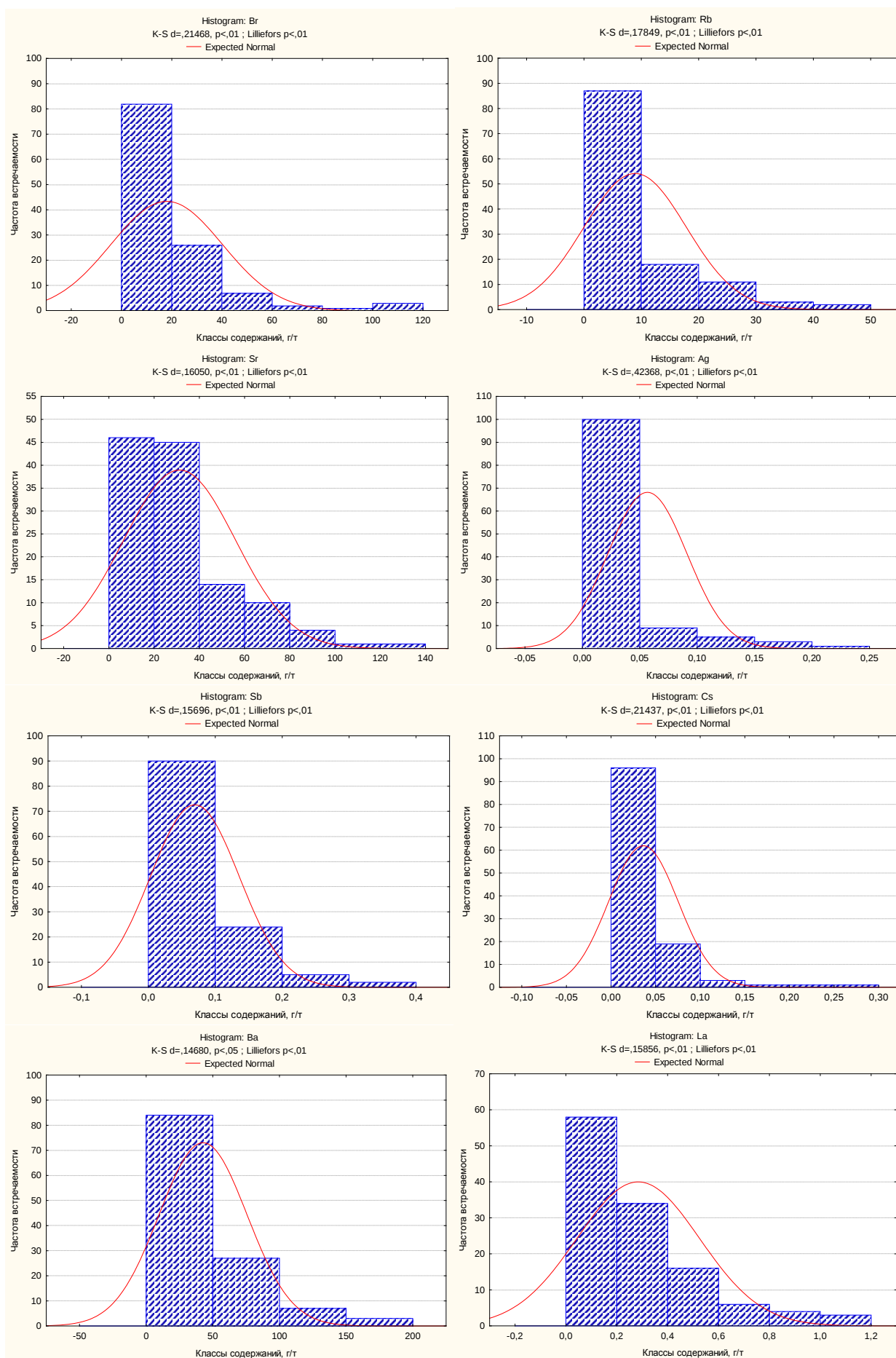


Рисунок А.10 - Гистограммы распределения Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

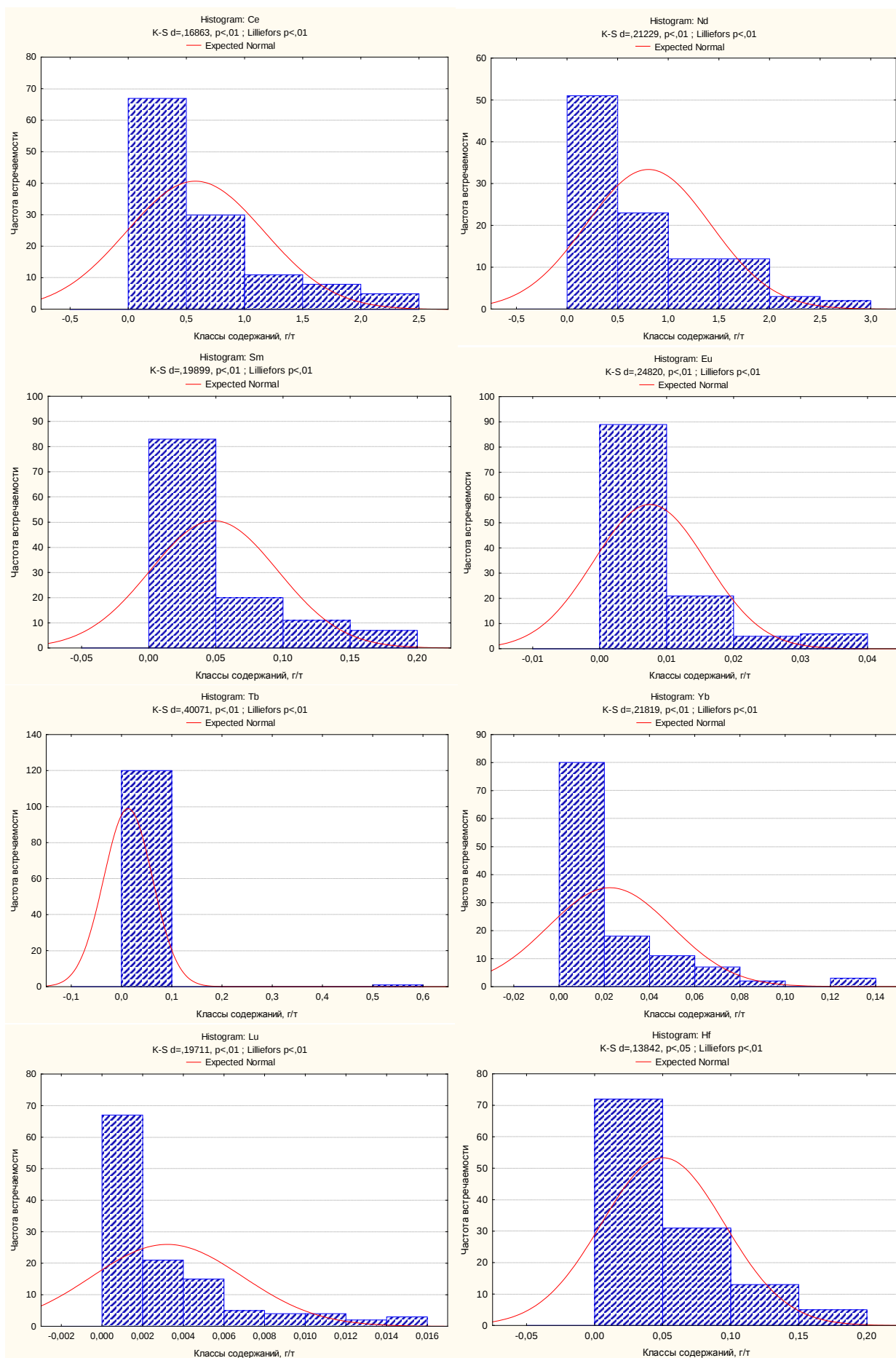


Рисунок А.11 - Гистограммы распределения Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

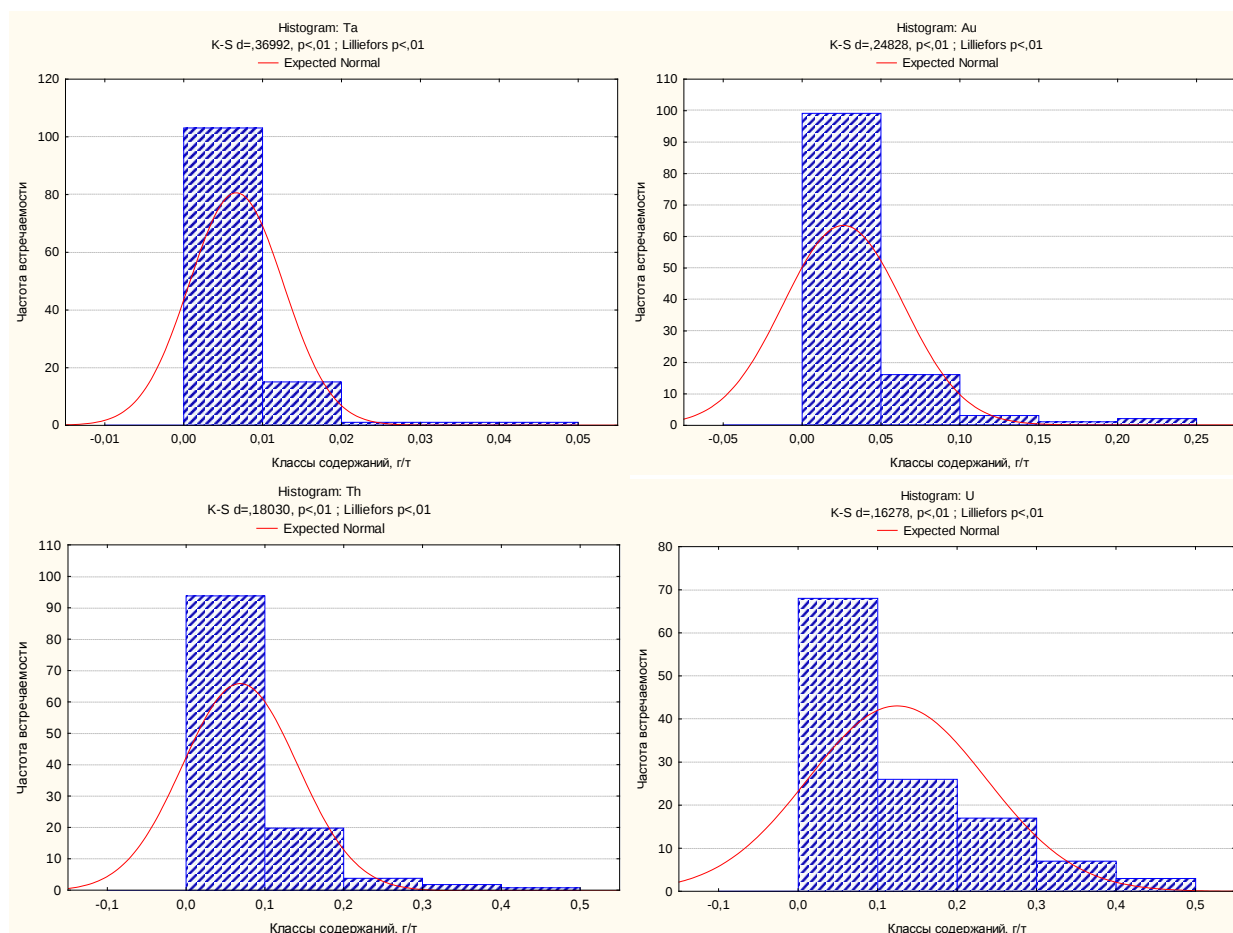


Рисунок А.12 - Гистограммы распределения Та, Ау, Тh, U в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

Таблица Б.1 - Матрица корреляционных связей элементов в составе черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) юга Сибири
(критическое значение коэффициента корреляции $r=0,29$)

	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U
Na	1,00																											
Ca	0,35	1,00																										
Sc	0,30	0,01	1,00																									
Cr	0,50	0,55	0,14	1,00																								
Fe	0,63	0,41	0,40	0,72	1,00																							
Co	0,07	-0,15	0,41	0,12	0,38	1,00																						
Zn	0,33	-0,01	0,40	0,04	0,40	0,49	1,00																					
As	0,33	0,37	-0,02	0,11	0,09	-0,19	-0,02	1,00																				
Br	0,58	0,37	0,26	0,39	0,65	0,27	0,33	0,26	1,00																			
Rb	-0,25	-0,20	0,00	-0,07	-0,06	0,26	0,30	-0,15	-0,08	1,00																		
Sr	0,32	0,69	0,02	0,34	0,20	-0,43	-0,15	0,39	0,19	-0,32	1,00																	
Ag	-0,13	-0,15	0,11	0,00	-0,12	0,24	-0,08	-0,10	-0,17	0,29	-0,12	1,00																
Sb	-0,08	0,21	-0,19	0,25	0,12	0,18	0,01	-0,11	-0,02	0,03	0,01	-0,03	1,00															
Cs	-0,01	-0,03	-0,06	-0,06	-0,13	-0,08	-0,04	0,10	-0,05	0,15	-0,04	0,05	-0,21	1,00														
Ba	0,13	0,58	-0,05	0,15	0,07	-0,39	-0,03	0,30	0,06	-0,17	0,64	-0,24	0,02	-0,11	1,00													
La	0,41	0,12	0,61	0,25	0,57	0,29	0,16	0,11	0,43	-0,20	0,13	-0,18	0,07	-0,21	0,03	1,00												
Ce	0,04	-0,24	0,47	0,05	0,21	0,69	0,28	-0,14	0,05	0,31	-0,28	0,23	-0,17	-0,04	-0,29	0,45	1,00											
Nd	0,38	0,35	0,19	0,51	0,42	0,09	0,02	0,02	0,20	0,04	0,17	0,02	0,13	-0,10	0,18	0,40	0,31	1,00										
Sm	0,30	0,17	0,72	0,27	0,53	0,40	0,24	-0,06	0,34	-0,17	0,14	-0,15	-0,04	-0,14	0,00	0,86	0,53	0,34	1,00									
Eu	-0,03	-0,19	0,26	0,08	0,01	0,41	-0,07	-0,10	-0,05	0,05	-0,19	0,28	-0,04	-0,03	-0,27	0,31	0,53	0,29	0,35	1,00								
Tb	-0,14	-0,15	0,22	0,07	-0,03	0,39	0,08	-0,20	-0,16	0,51	-0,16	0,79	0,09	0,22	-0,26	0,00	0,47	0,18	0,02	0,30	1,00							
Yb	0,09	-0,02	0,57	-0,08	-0,02	0,25	0,13	0,00	0,02	0,11	0,03	-0,03	-0,24	-0,01	-0,05	0,45	0,55	0,21	0,53	0,48	0,18	1,00						
Lu	0,43	0,51	0,07	0,39	0,25	-0,34	-0,09	0,14	0,09	-0,42	0,55	0,01	0,10	0,00	0,18	0,13	-0,24	0,21	0,17	-0,24	-0,03	-0,01	1,00					
Hf	0,61	0,32	0,64	0,65	0,78	0,48	0,39	0,10	0,56	-0,03	0,14	-0,08	0,09	-0,16	0,02	0,62	0,37	0,37	0,67	0,22	0,03	0,34	0,17	1,00				
Ta	-0,26	-0,22	-0,02	-0,15	-0,10	0,24	0,14	-0,08	-0,16	0,40	-0,26	0,24	0,21	0,31	-0,16	-0,22	0,12	-0,25	-0,24	-0,06	0,52	-0,10	-0,14	-0,12	1,00			
Au	-0,07	0,03	0,12	-0,02	-0,16	0,33	-0,13	0,02	0,02	0,00	-0,10	-0,06	0,30	-0,11	-0,04	0,22	0,35	0,06	0,25	0,36	0,02	0,48	-0,04	0,22	0,09	1,00		
Th	-0,33	-0,36	0,11	-0,10	-0,10	0,54	0,22	-0,26	-0,24	0,39	-0,39	0,52	0,02	0,09	-0,39	-0,16	0,54	0,01	-0,03	0,24	0,64	-0,02	-0,31	-0,14	0,42	-0,05	1,00	
U	0,63	0,46	0,19	0,85	0,62	0,10	0,06	0,24	0,39	-0,12	0,31	-0,04	0,23	-0,07	0,14	0,41	0,13	0,48	0,34	0,13	0,09	0,18	0,43	0,67	-0,14	0,17	-0,21	1,00

Примечание: выделено жирным – значимая положительная корреляционная связь; выделено жирным курсивом – значимая отрицательная корреляционная связь.

Таблица Б.2 - Матрица корреляционных связей элементов в составе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири
(критическое значение коэффициента корреляции $r=0,34$)

	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U
Na	1,00																											
Ca	0,54	1,00																										
Sc	0,38	0,55	1,00																									
Cr	0,29	0,08	0,15	1,00																								
Fe	0,69	0,29	0,27	0,64	1,00																							
Co	0,75	0,45	0,14	0,27	0,75	1,00																						
Zn	0,79	0,45	0,36	0,10	0,63	0,74	1,00																					
As	0,69	0,37	0,43	0,24	0,49	0,55	0,60	1,00																				
Br	0,85	0,48	0,30	0,38	0,74	0,86	0,86	0,67	1,00																			
Rb	0,11	0,33	0,14	0,15	0,13	0,20	-0,04	0,27	0,11	1,00																		
Sr	0,24	0,55	0,46	-0,01	0,11	0,19	0,10	-0,00	0,17	0,05	1,00																	
Ag	-0,09	0,28	0,07	-0,09	-0,08	-0,01	-0,21	0,04	-0,11	0,76	0,02	1,00																
Sb	-0,19	0,30	0,20	0,07	-0,13	-0,15	-0,26	-0,20	-0,27	0,41	0,10	0,65	1,00															
Cs	-0,01	0,33	0,34	0,12	0,14	-0,11	-0,22	0,01	-0,07	0,39	0,14	0,62	0,40	1,00														
Ba	0,10	0,52	0,02	-0,08	0,07	0,21	0,06	0,07	-0,00	0,33	0,05	0,38	0,46	0,17	1,00													
La	0,08	0,37	0,22	0,00	0,21	0,21	-0,14	0,13	-0,05	0,67	0,18	0,80	0,58	0,58	0,59	1,00												
Ce	0,32	0,38	0,56	0,16	0,49	0,26	0,12	0,24	0,12	0,03	0,45	0,04	0,15	0,36	0,33	0,55	1,00											
Nd	-0,30	-0,12	0,04	-0,14	-0,25	-0,37	-0,37	-0,30	-0,38	-0,02	-0,02	0,09	0,17	0,15	-0,07	0,08	0,05	1,00										
Sm	0,25	0,35	0,60	0,08	0,38	0,14	0,05	0,21	0,00	0,07	0,40	0,12	0,23	0,40	0,34	0,59	0,97	0,07	1,00									
Eu	0,19	0,42	0,57	0,13	0,34	0,09	0,03	0,11	-0,02	0,01	0,35	0,12	0,31	0,43	0,41	0,54	0,91	0,06	0,93	1,00								
Tb	0,02	0,46	0,42	0,01	0,10	0,01	-0,15	0,09	-0,11	0,53	0,26	0,78	0,70	0,65	0,55	0,89	0,56	0,10	0,62	0,65	1,00							
Yb	0,24	0,40	0,63	0,14	0,28	-0,00	-0,03	0,17	-0,07	0,09	0,45	0,15	0,35	0,45	0,30	0,52	0,88	0,07	0,92	0,93	0,65	1,00						
Lu	0,21	0,29	0,28	0,17	0,37	0,21	-0,06	0,17	0,02	0,10	0,27	0,18	0,25	0,39	0,34	0,56	0,83	-0,01	0,80	0,79	0,58	0,75	1,00					
Hf	0,21	0,10	0,12	0,05	0,39	0,32	0,11	-0,03	0,04	-0,12	0,17	-0,06	0,16	0,10	0,30	0,37	0,68	-0,11	0,65	0,64	0,26	0,57	0,59	1,00				
Ta	0,11	0,25	0,22	0,07	0,34	0,18	-0,04	-0,02	-0,07	-0,06	0,19	0,10	0,35	0,22	0,48	0,56	0,82	0,10	0,82	0,79	0,53	0,70	0,77	1,00				
Au	0,62	0,51	0,50	0,37	0,38	0,25	0,39	0,40	0,40	0,25	0,13	0,20	0,39	0,25	0,14	0,18	0,23	-0,11	0,25	0,34	0,34	0,46	0,26	0,10	1,00			
Th	0,23	0,39	0,57	0,10	0,38	0,17	0,02	0,18	-0,00	0,03	0,46	0,09	0,22	0,41	0,36	0,57	0,97	0,09	0,98	0,93	0,60	0,91	0,79	0,66	0,83	0,24	1,00	
U	0,31	0,47	0,55	0,71	0,49	0,17	0,07	0,21	0,26	0,32	0,41	0,25	0,37	0,49	0,13	0,37	0,49	-0,04	0,45	0,52	0,53	0,58	0,38	0,55	0,26	0,49	1,00	

Примечание: выделено жирным – значимая положительная корреляционная связь, выделено жирным курсивом – значимая отрицательная корреляционная связь.

Таблица Б.3 – Матрица корреляционных связей элементов в составе лабазника вязолистного (Filipendula Ulmaria (L.) Maxim), на территории юга Сибири (критическое значение коэффициента корреляции $r=0,17$)

	Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U
Na	1,00																											
Ca	0,55	1,00																										
Sc	0,62	0,45	1,00																									
Cr	0,52	0,37	0,36	1,00																								
Fe	0,67	0,46	0,61	0,92	1,00																							
Co	0,60	0,52	0,50	0,60	0,71	1,00																						
Zn	0,49	0,46	0,24	0,17	0,28	0,40	1,00																					
As	0,20	0,27	0,37	0,09	0,19	0,33	0,17	1,00																				
Br	0,30	0,35	0,20	0,25	0,29	0,76	0,32	0,37	1,00																			
Rb	-0,05	-0,07	-0,06	-0,01	-0,04	0,16	0,15	-0,17	0,21	1,00																		
Sr	0,29	0,58	0,21	0,13	0,15	0,14	0,21	0,22	0,04	-0,12	1,00																	
Ag	0,12	0,19	0,13	0,26	0,27	0,26	0,21	0,04	0,16	0,19	-0,13	1,00																
Sb	0,35	0,28	0,35	0,83	0,76	0,41	-0,01	0,11	0,09	-0,10	0,13	0,23	1,00															
Cs	0,19	0,27	0,57	0,18	0,28	0,20	0,02	0,35	0,13	0,05	0,16	0,02	0,20	1,00														
Ba	0,00	0,42	0,03	-0,09	-0,10	-0,10	0,16	0,02	-0,07	-0,14	0,38	-0,09	-0,09	0,11	1,00													
La	0,43	0,46	0,81	0,21	0,36	0,31	0,29	0,40	0,20	-0,12	0,32	0,03	0,25	0,57	0,21	1,00												
Ce	0,49	0,44	0,77	0,20	0,35	0,33	0,37	0,37	0,16	0,02	0,31	0,08	0,18	0,55	0,19	0,92	1,00											
Nd	0,34	0,42	0,37	0,17	0,22	0,13	0,26	0,18	0,04	-0,15	0,27	0,05	0,19	0,16	0,32	0,44	0,46	1,00										
Sm	0,49	0,47	0,88	0,28	0,46	0,39	0,26	0,42	0,21	-0,15	0,33	0,07	0,30	0,56	0,13	0,94	0,89	0,43	1,00									
Eu	0,27	0,33	0,42	0,07	0,12	0,24	0,31	0,18	0,30	0,01	0,31	0,09	0,02	0,30	0,07	0,67	0,67	0,28	0,64	1,00								
Tb	0,22	0,03	0,19	0,02	0,06	0,03	-0,03	0,08	0,06	-0,05	-0,03	0,06	0,02	0,12	-0,10	0,13	0,16	-0,03	0,16	0,14	1,00							
Yb	0,34	0,28	0,76	0,16	0,32	0,20	0,08	0,31	0,02	-0,07	0,19	-0,05	0,18	0,57	0,08	0,79	0,77	0,26	0,76	0,50	0,23	1,00						
Lu	0,26	0,30	0,59	0,33	0,39	0,30	0,12	0,21	0,19	-0,07	0,19	0,13	0,34	0,44	0,04	0,68	0,61	0,18	0,65	0,48	0,10	0,58	1,00					
Hf	0,63	0,41	0,83	0,65	0,77	0,50	0,22	0,28	0,16	-0,05	0,22	0,21	0,60	0,55	-0,03	0,67	0,67	0,33	0,75	0,44	0,19	0,60	0,58	1,00				
Ta	0,18	0,16	0,40	0,04	0,13	0,29	0,18	0,31	0,27	0,01	0,17	0,10	0,05	0,25	0,03	0,43	0,40	0,15	0,46	0,59	0,01	0,34	0,34	0,34	1,00			
Au	0,54	0,34	0,42	0,46	0,57	0,45	0,18	0,19	0,22	-0,15	0,09	0,14	0,35	0,05	-0,06	0,24	0,19	0,20	0,32	0,14	0,22	0,41	0,22	0,41	0,27	1,00		
Th	0,57	0,37	0,90	0,47	0,63	0,44	0,11	0,34	0,16	-0,06	0,19	0,07	0,45	0,60	0,04	0,78	0,76	0,36	0,83	0,40	0,18	0,73	0,63	0,84	0,38	0,39	1,00	
U	0,65	0,43	0,42	0,86	0,84	0,60	0,30	0,11	0,27	0,07	0,15	0,34	0,71	0,20	-0,06	0,30	0,35	0,26	0,35	0,19	0,08	0,21	0,29	0,69	0,41	0,48	1,00	

Примечание: выделено жирным – значимая положительная корреляционная связь, выделено жирным курсивом – значимая отрицательная корреляционная связь.

Приложение В (обязательное)

Динамика содержания химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*)

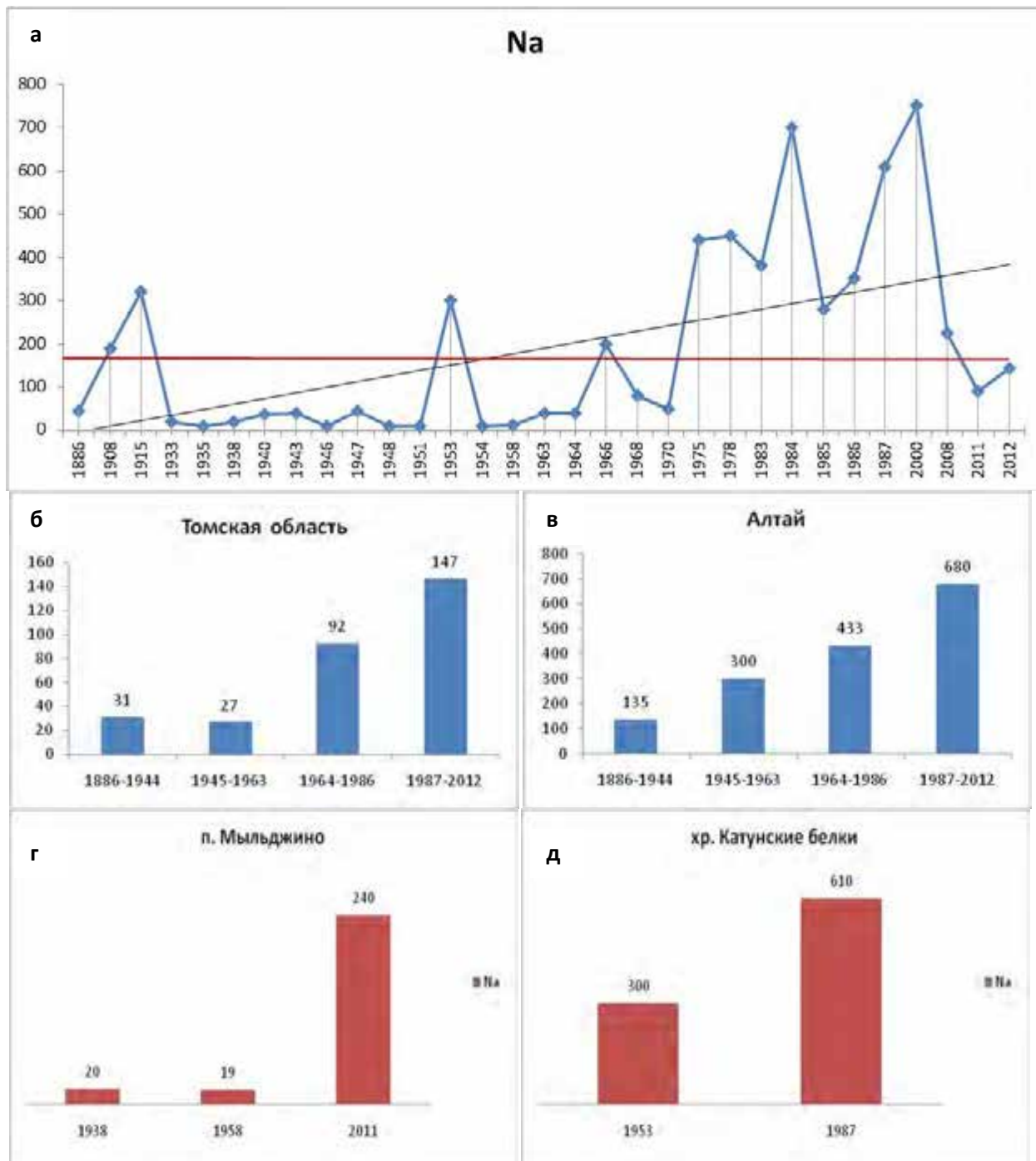


Рисунок В.1 - Динамика содержания натрия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика содержания натрия в чернике по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – п. Мылджино (Томская область); д – хр. Катунские белки (Республика Алтай); — — — — — среднее содержание элемента; — — — — — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

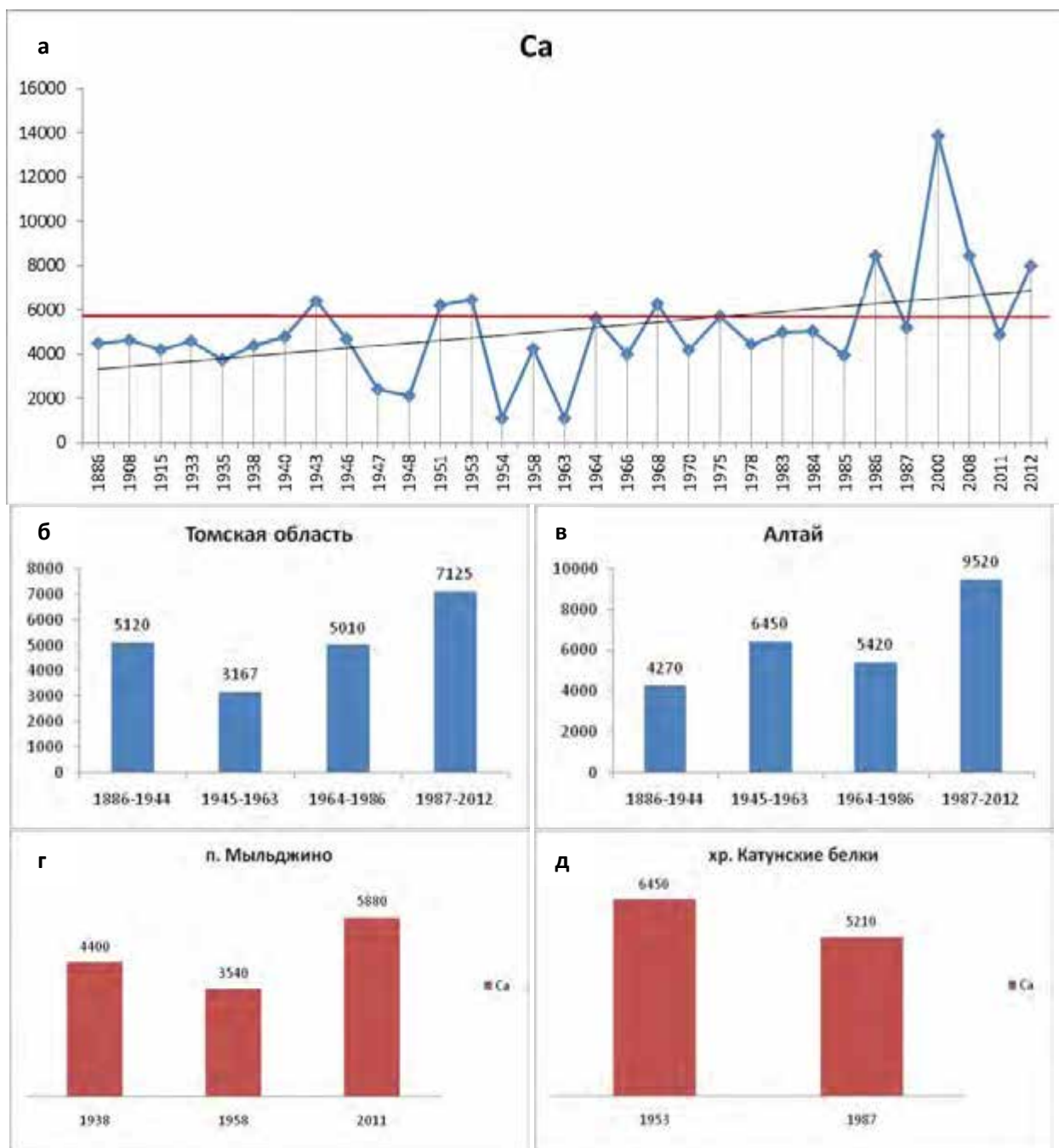


Рисунок В.2 - Динамика содержания кальция в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика содержания кальция в чернике по югу Сибири; б –Томская область; в - Республика Алтай; г –п. Мыльджино (Томская область); д - хр. Катунские белки (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

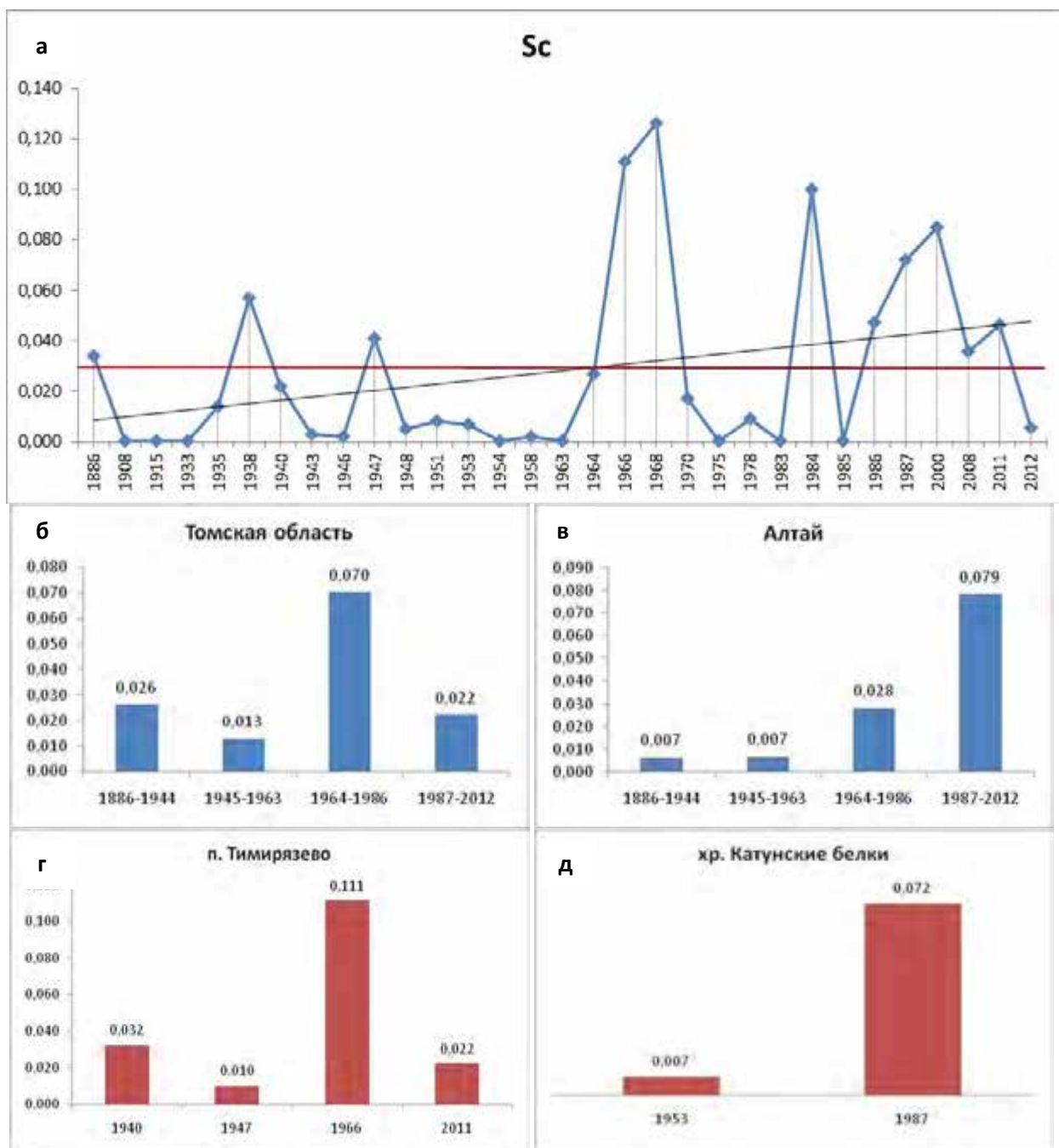


Рисунок В.3 - Динамика содержания скандия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика содержания скандия в чернике по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хр. Катунские белки (Республика Алтай); — — — — — среднее содержание элемента; — — — — — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

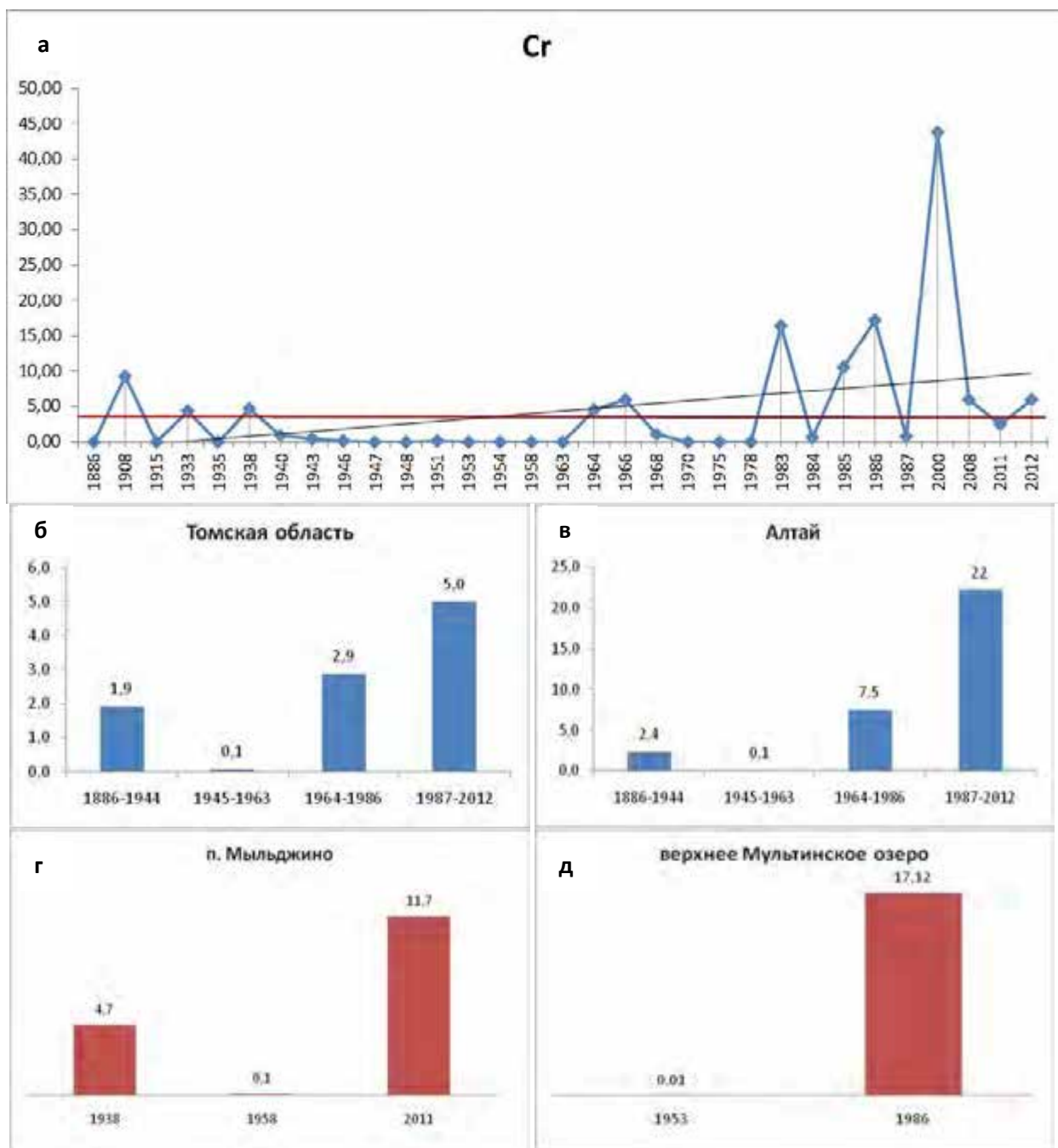


Рисунок В.4 - Динамика содержания скандия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика содержания хрома в чернике по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – п. Мыльджино (Томская область); д – Верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

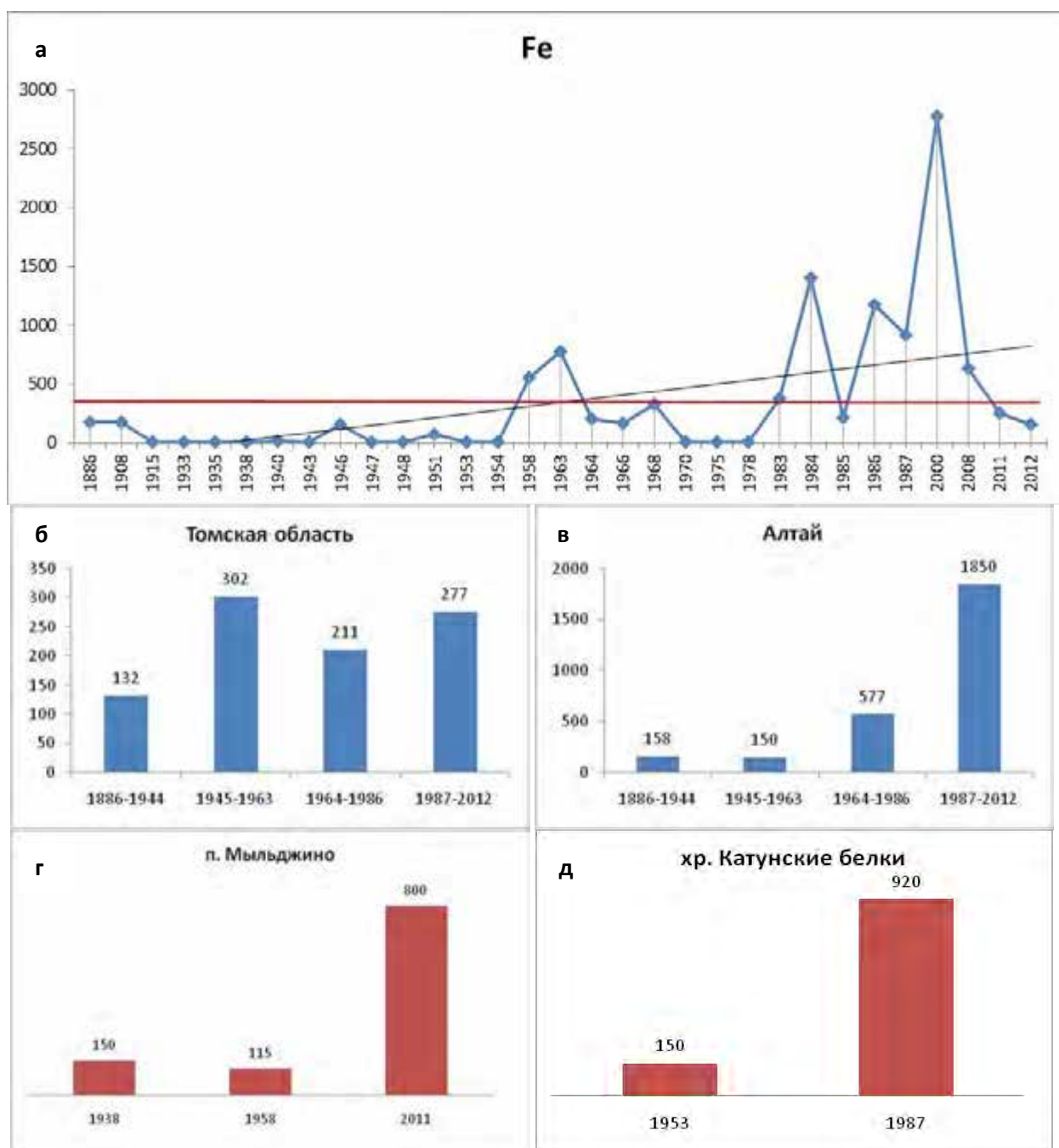


Рисунок В.5 - Динамика содержания железа в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика содержания железа в чернике по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Мыльджино (Томская область); д - хр. Катунские белки (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

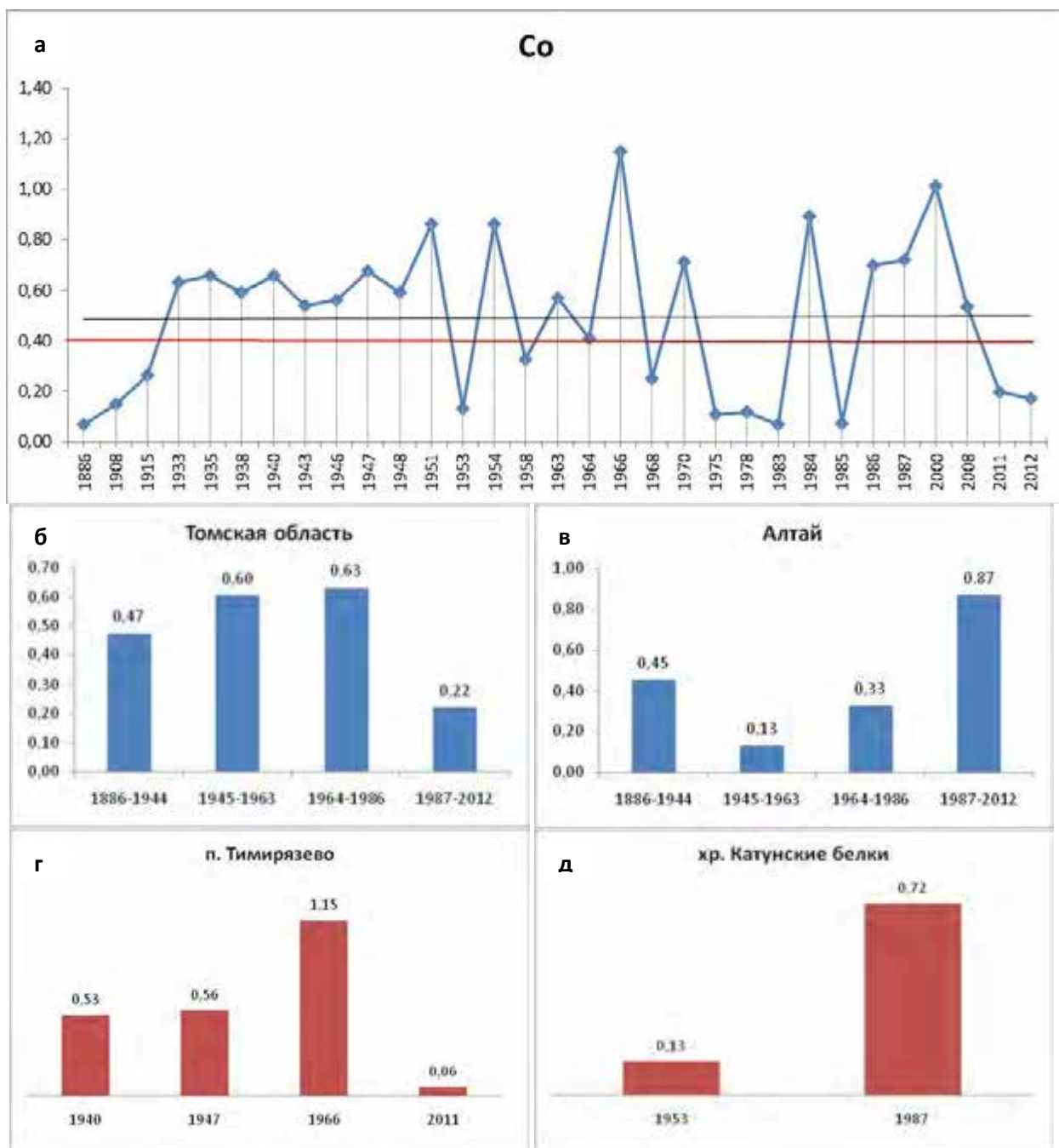


Рисунок В.6 - Динамика содержания кобальта в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д - хр. Катунские белки (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; ——— - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

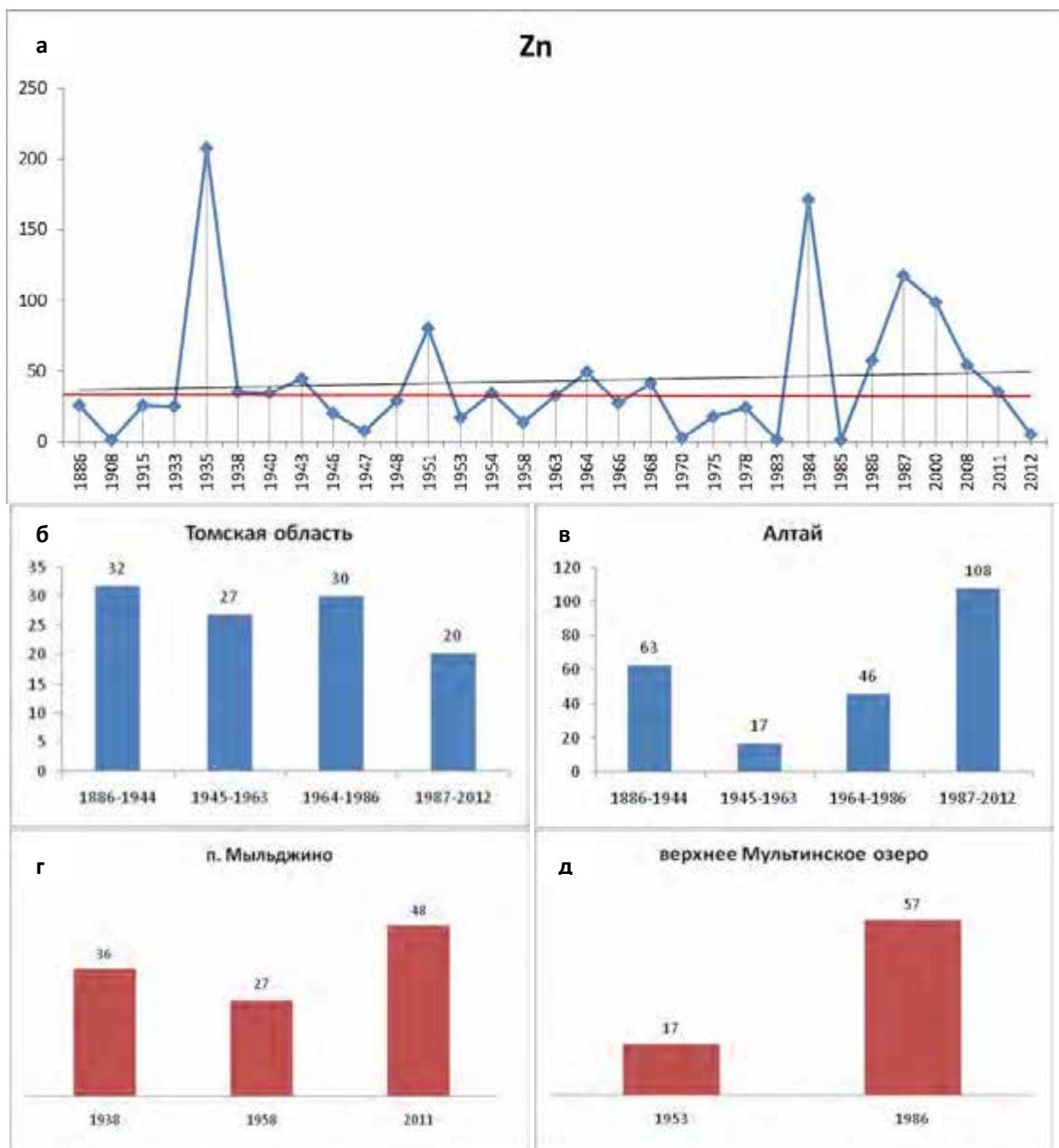


Рисунок В.7 - Динамика содержания цинка в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Мыльджино (Томская область); д –верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

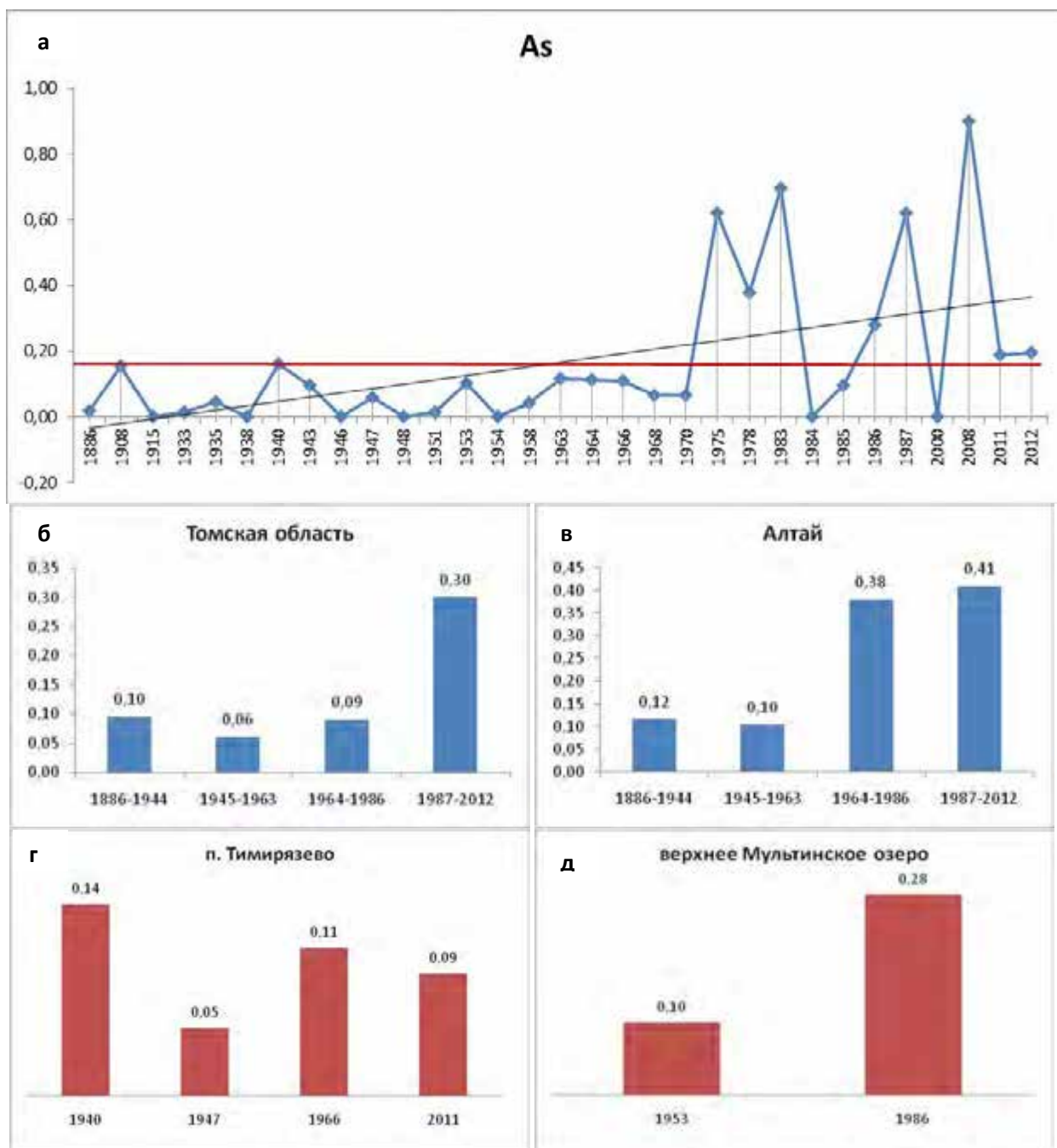


Рисунок В.8 - Динамика содержания мышьяка в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

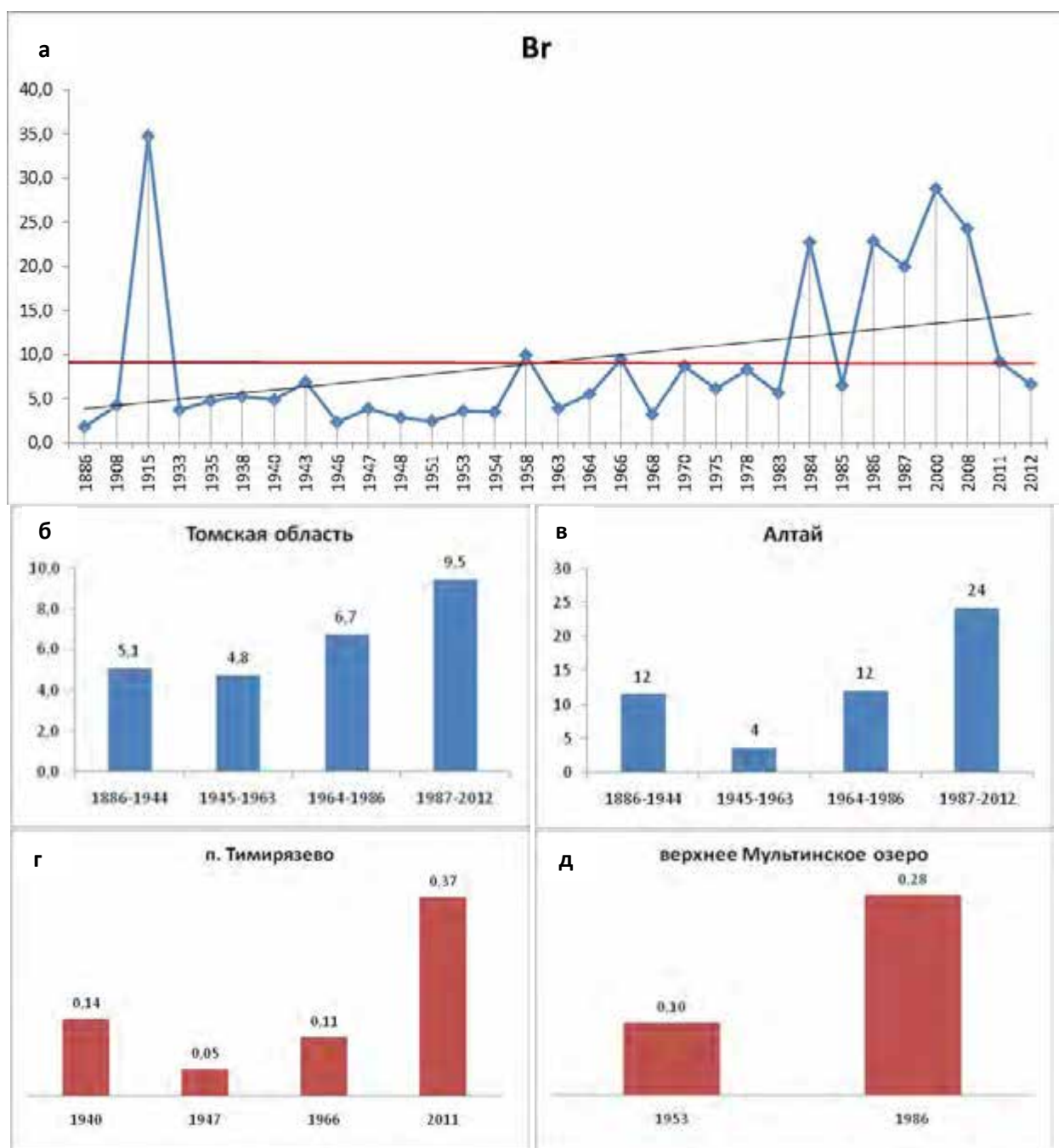


Рисунок В.9 - Динамика содержания брома в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

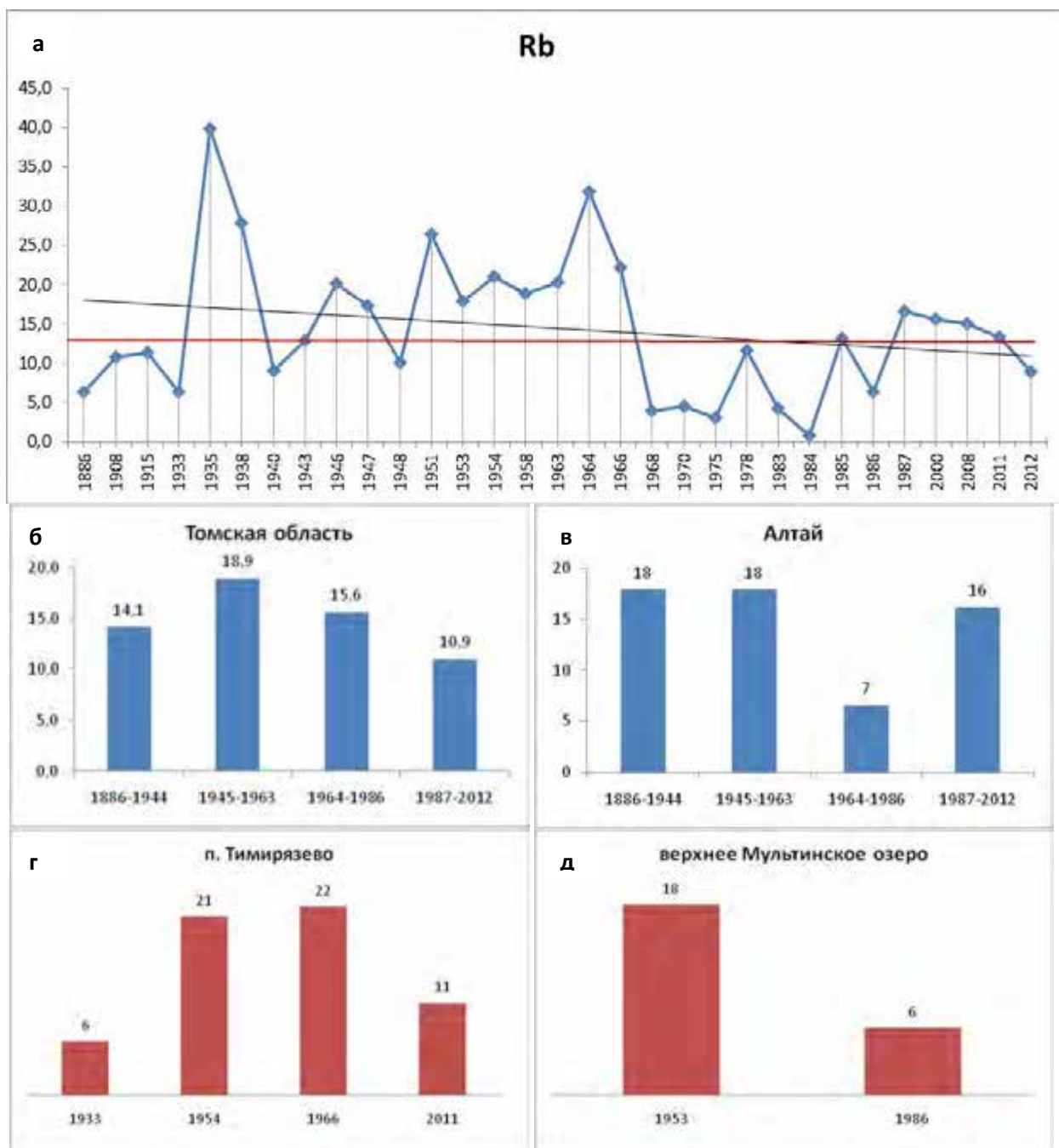


Рисунок В.10 - Динамика содержания рубидия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — — — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

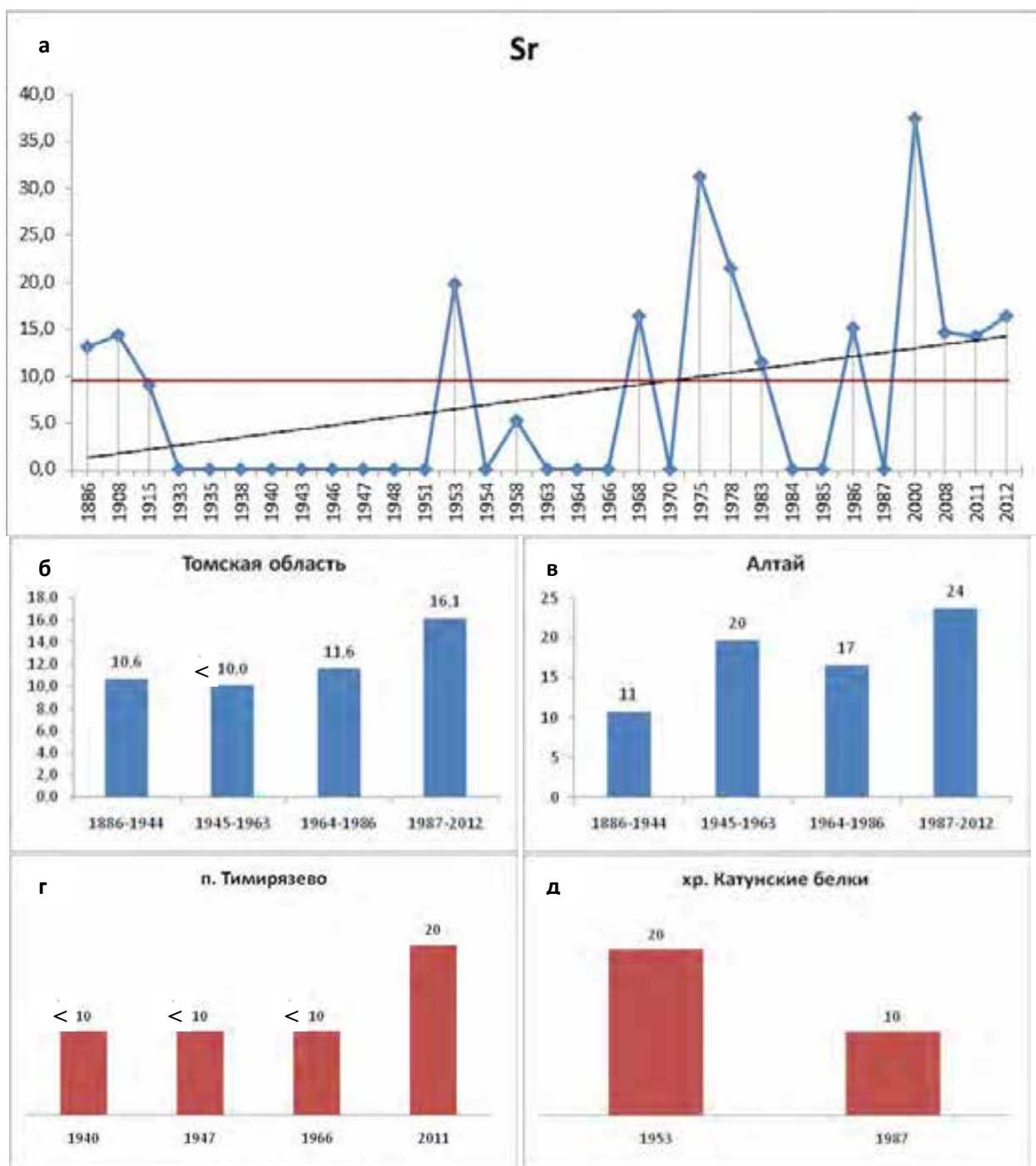


Рисунок В.11 - Динамика содержания стронция в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хр. Катунские белки (Республика Алтай); ——— - среднее содержание элемента; ——— - тенденция (тренд) содержания элемента во времени. Примечание: в чернике Томской области стронций ниже предела обнаружения анализа в образцах с 1933 по 1970 г (в 15 из 17 проб).

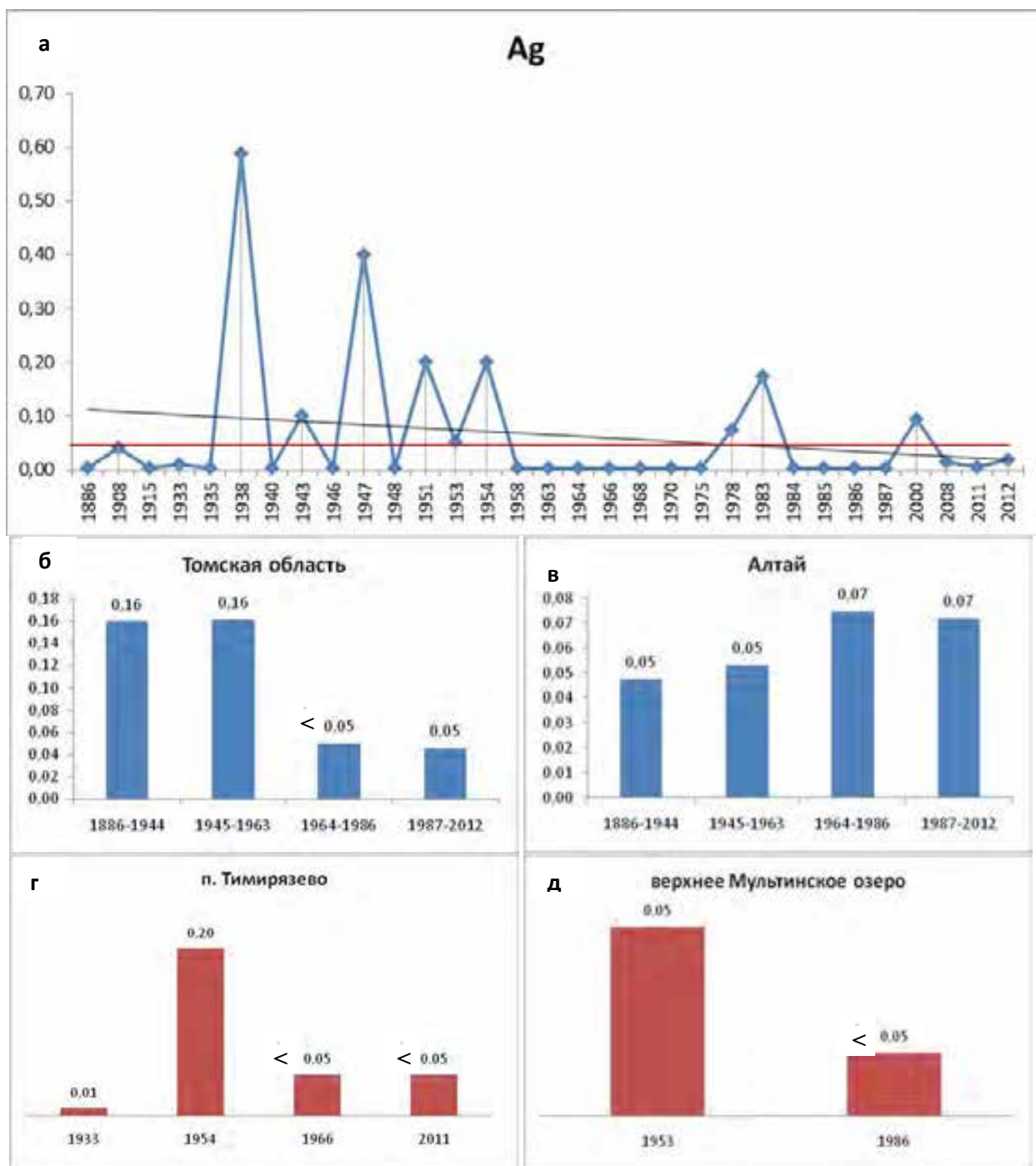


Рисунок В.12 - Динамика содержания серебра в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультигинское озеро (Республика Алтай); — среднее содержание элемента — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

Примечание: в чернике Томской области серебро ниже предела обнаружения анализа в 22 из 35 проб. В чернике Республики Алтай серебро ниже предела обнаружения анализа в 8 из 13 проб.

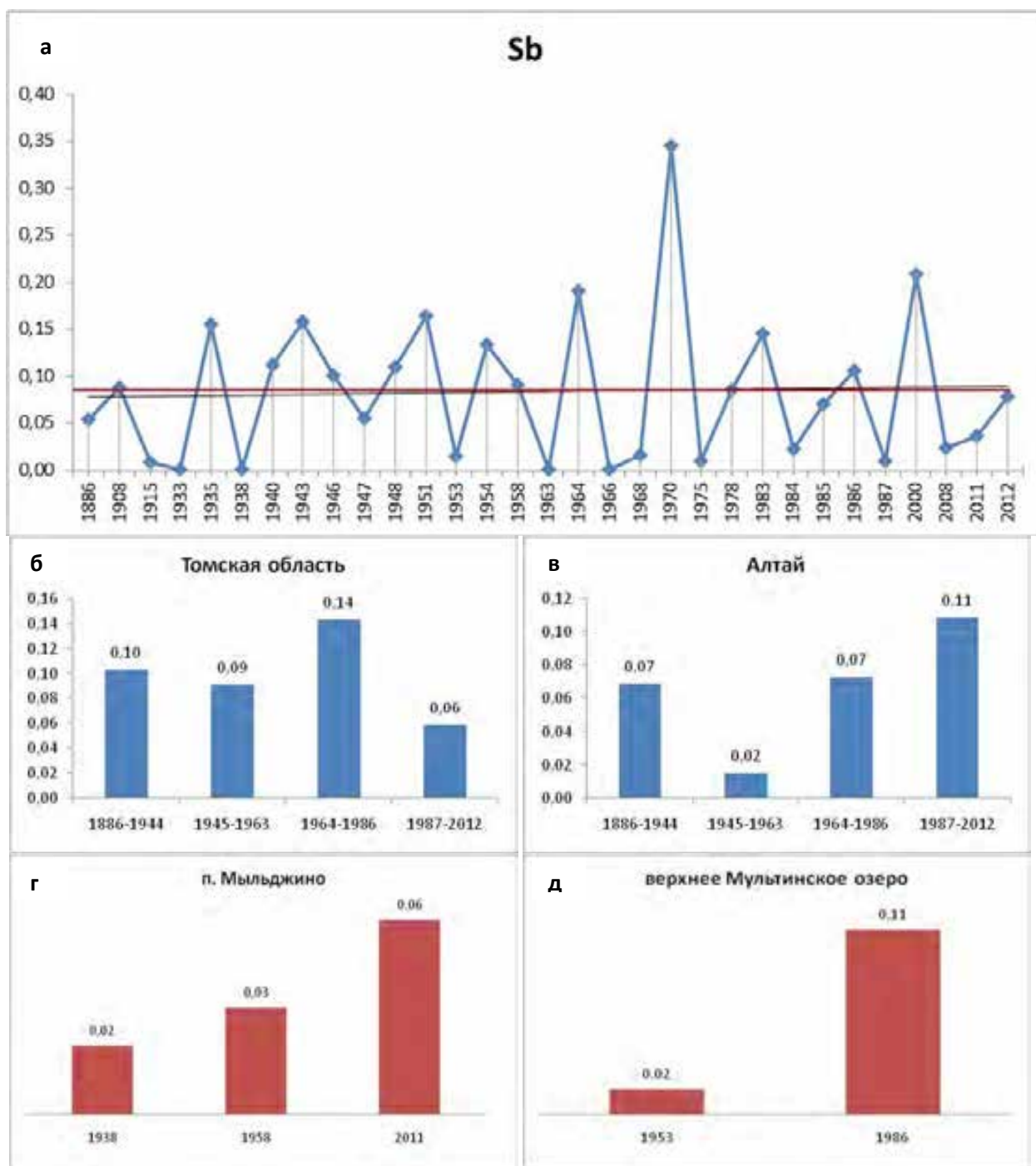


Рисунок В.13 - Динамика содержания сурьмы в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Мыльджино (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; ——— - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

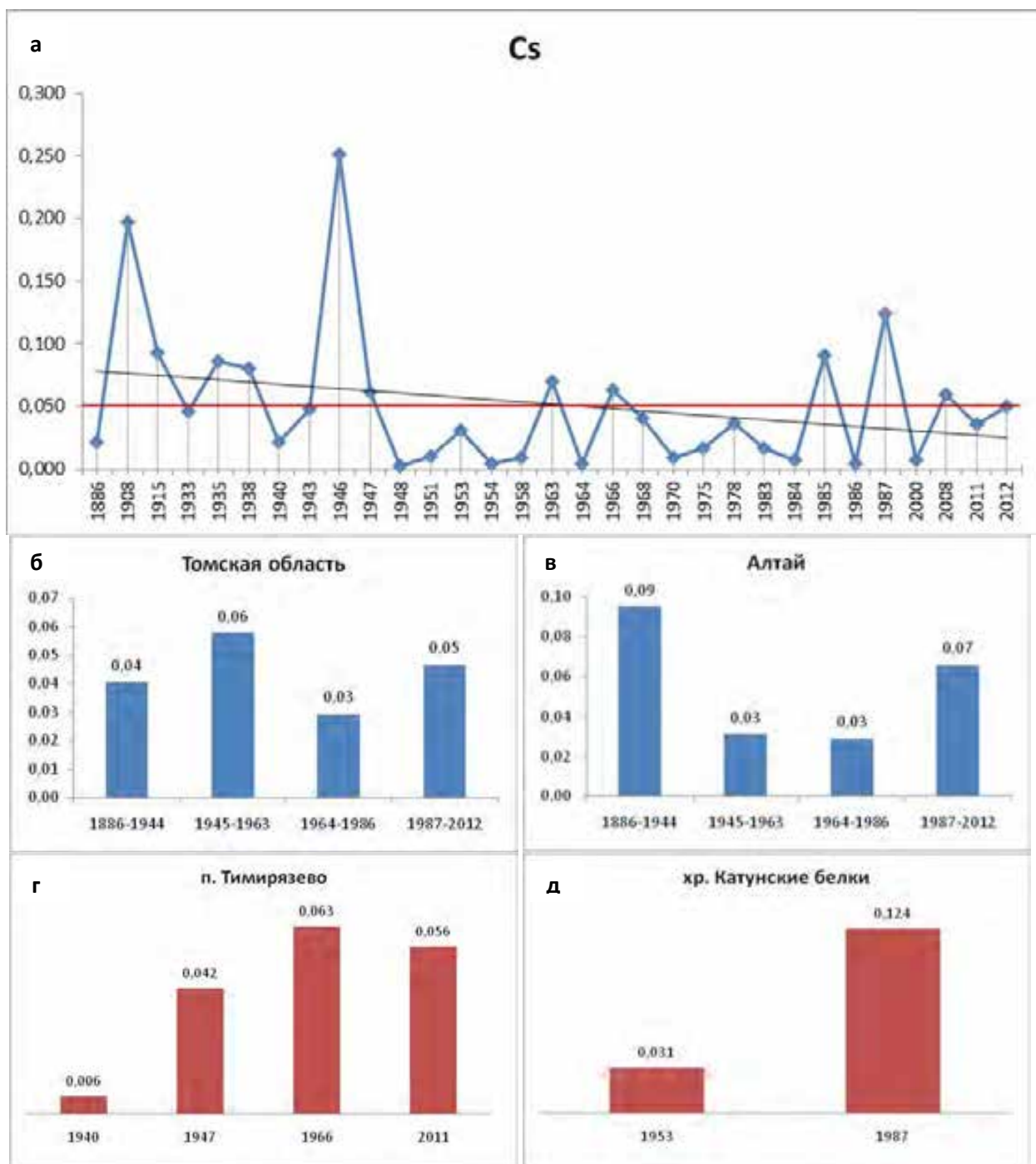


Рисунок В.14 - Динамика содержания цезия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хребет Катунские белки (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; ——— - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

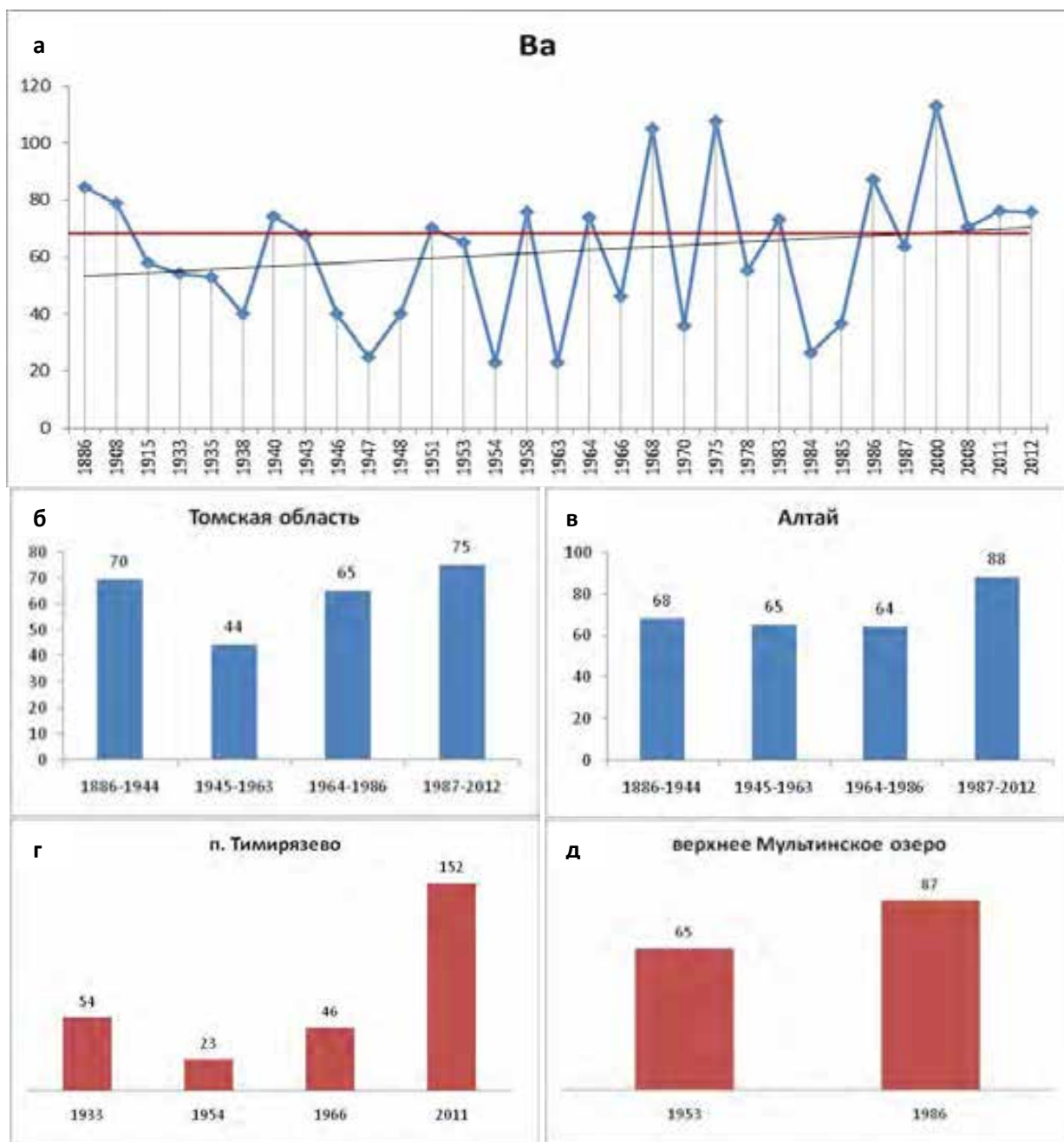


Рисунок В.15 - Динамика содержания бария в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

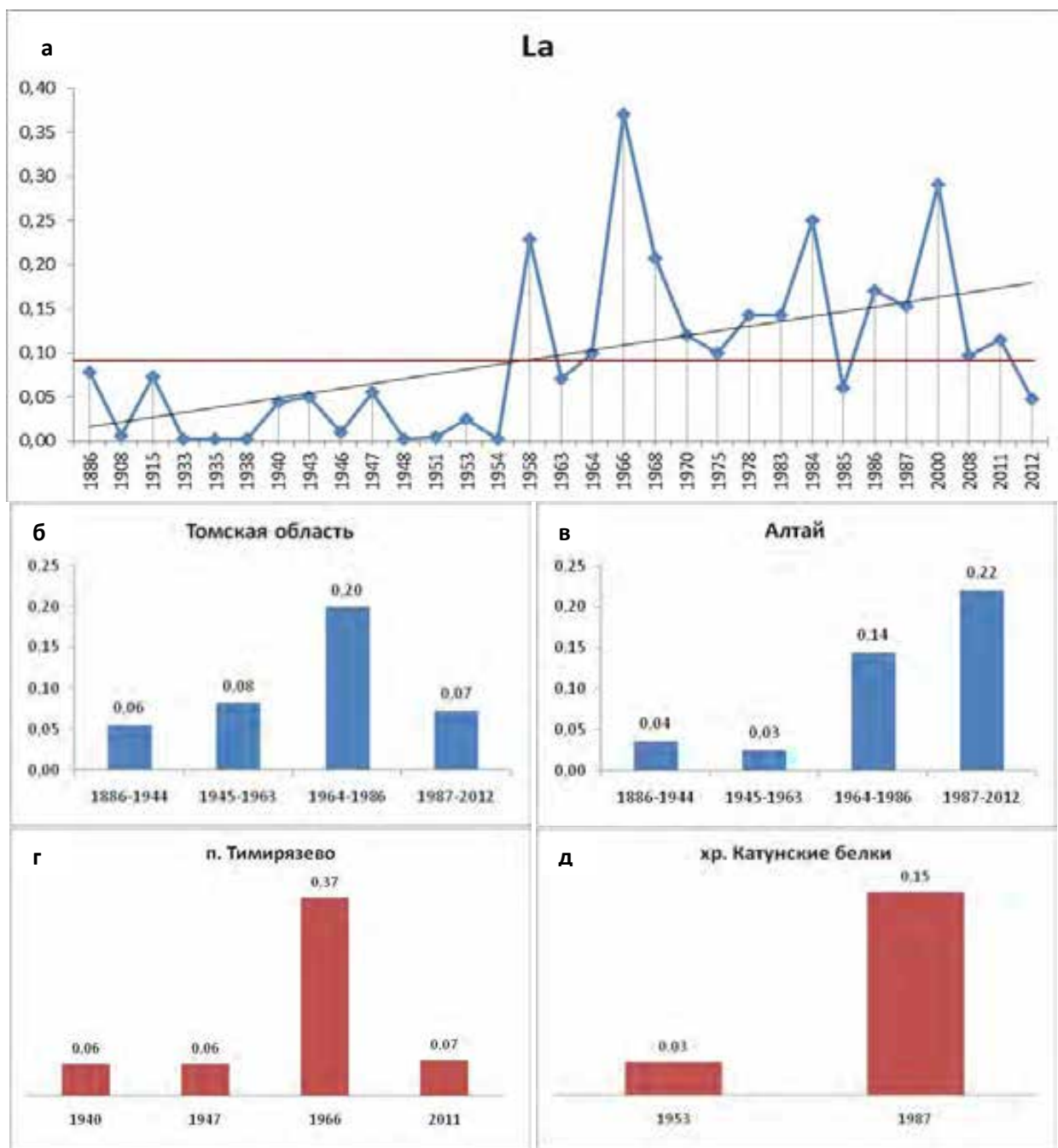


Рисунок В.16 - Динамика содержания лантана в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хребет Катунские белки (Республика Алтай); — среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

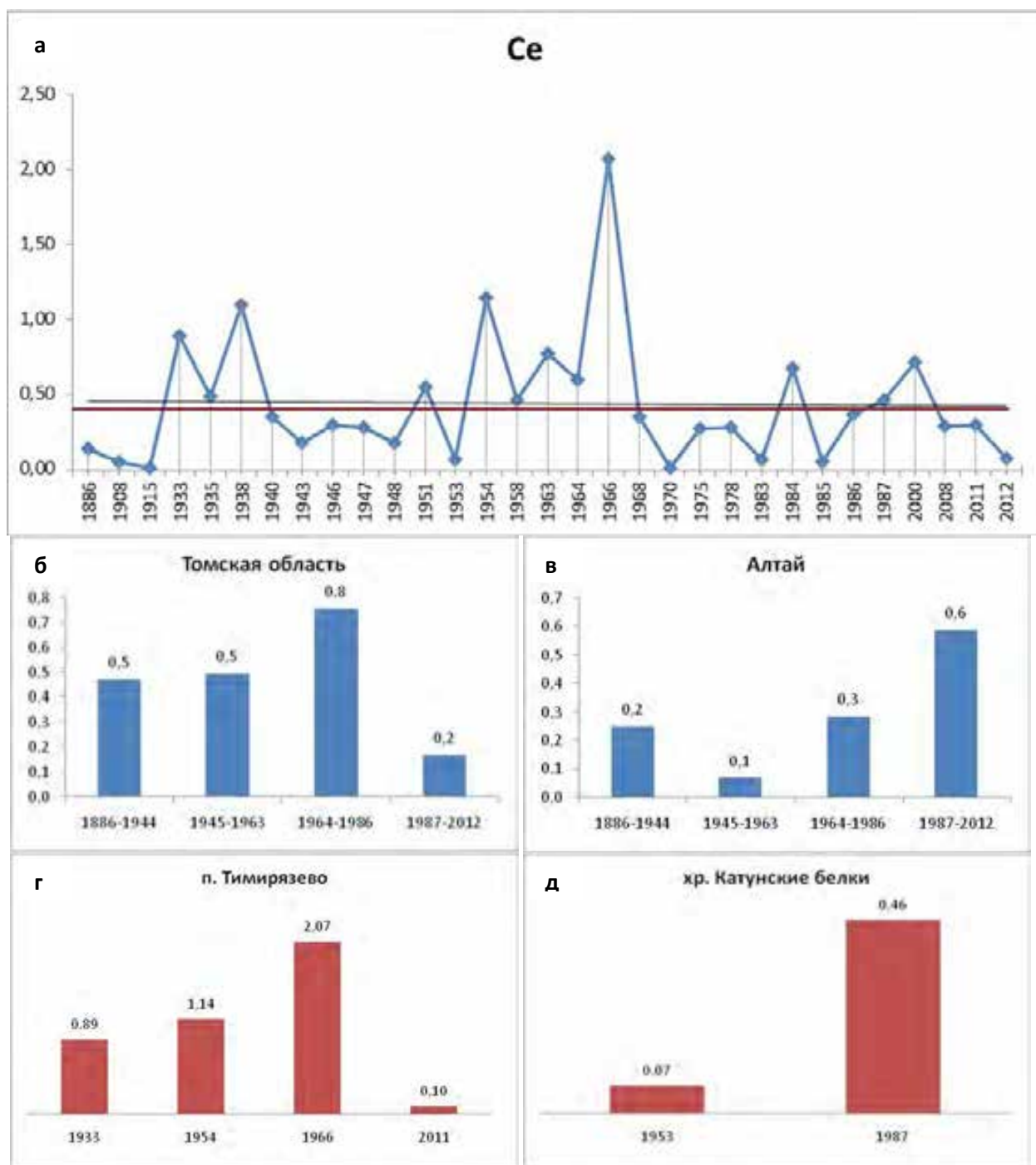


Рисунок В.17 - Динамика содержания церия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хребет Катунские белки (Республика Алтай); ———- среднее содержание элемента; ———- тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

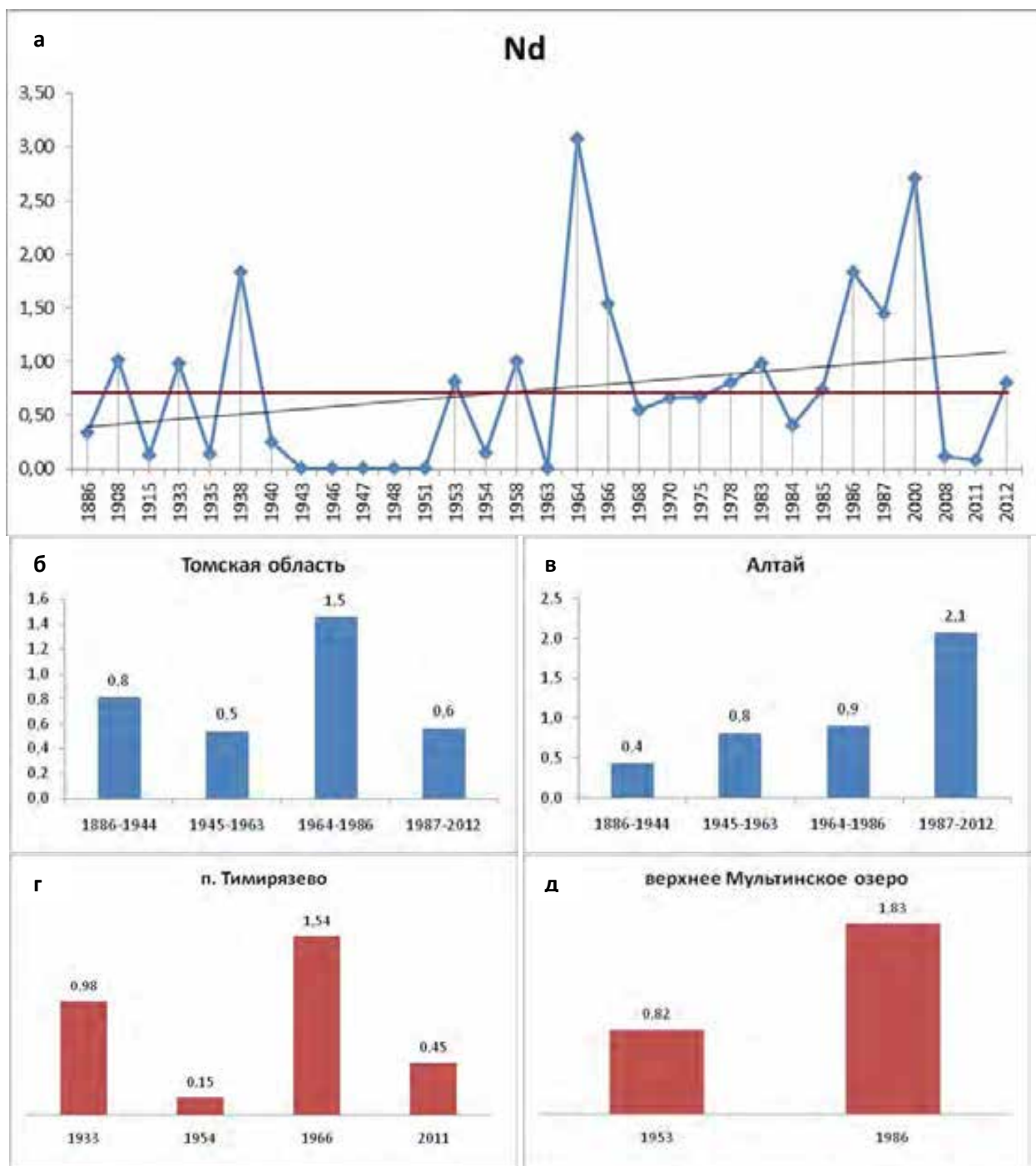


Рисунок В.18 - Динамика содержания неодима в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

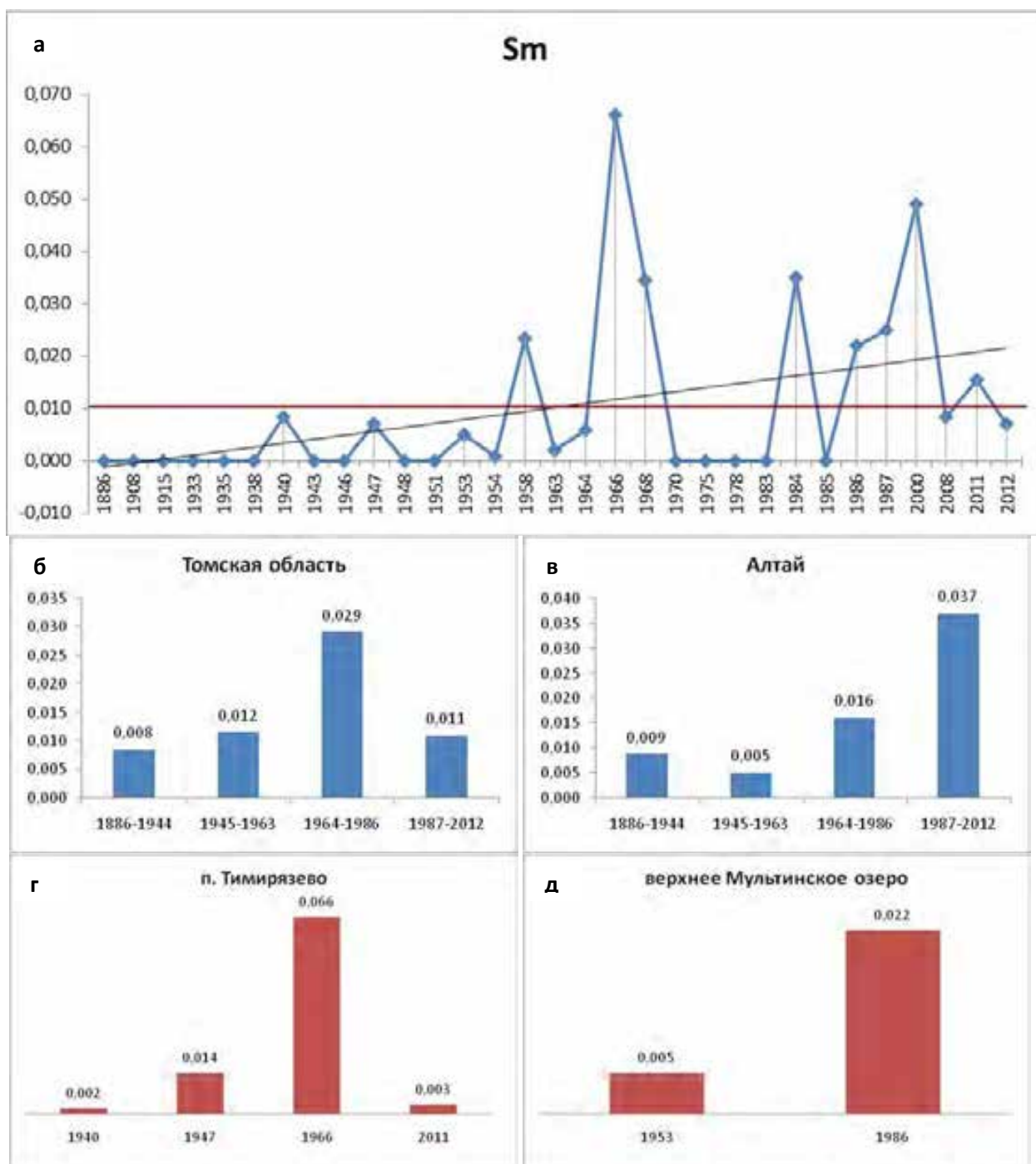


Рисунок В.19 - Динамика содержания самария в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультигинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; ——— - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

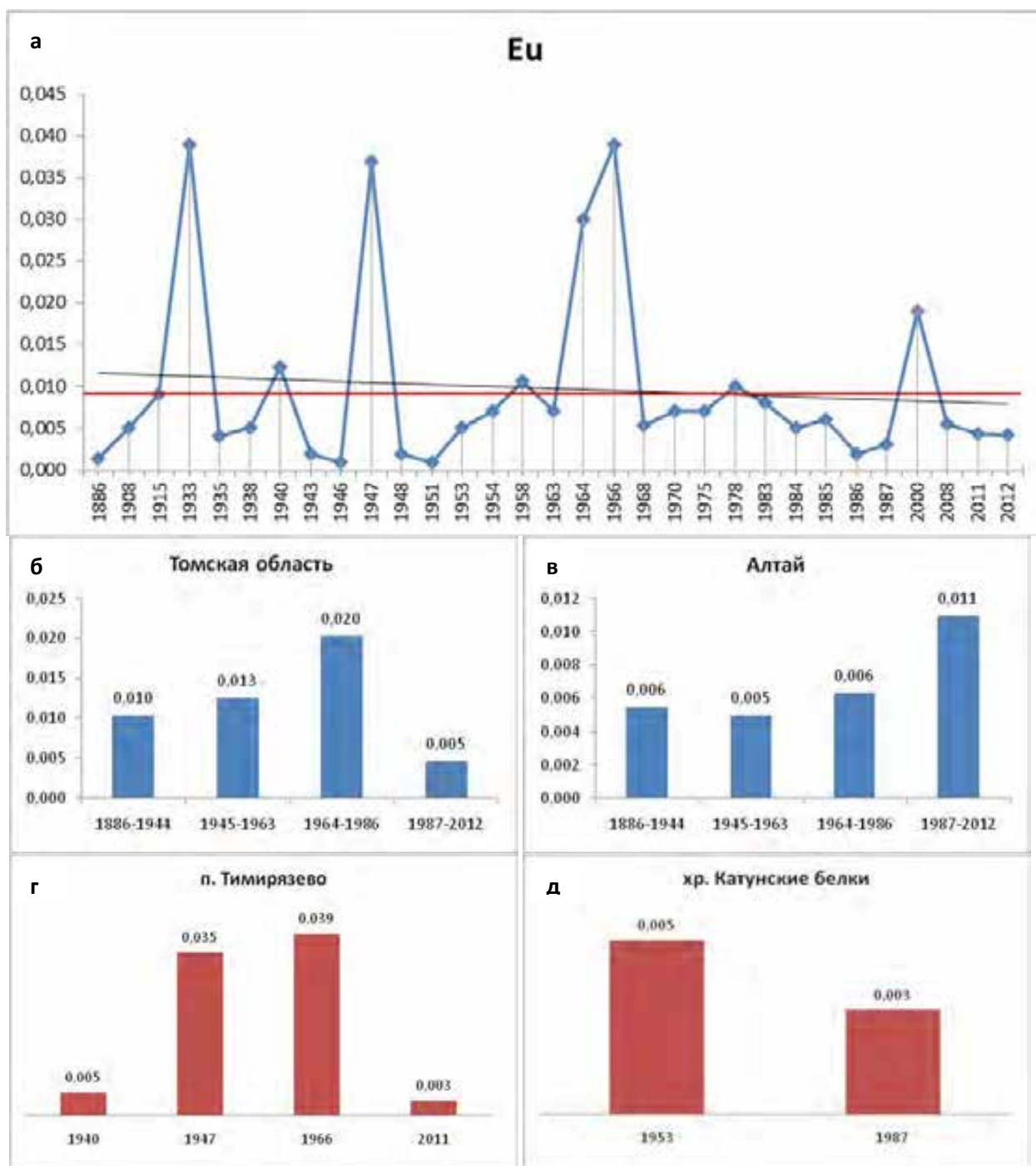


Рисунок В.20 - Динамика содержания европия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хребет Катунские белки (Республика Алтай); — — — - среднее содержание элемента; — — — — — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

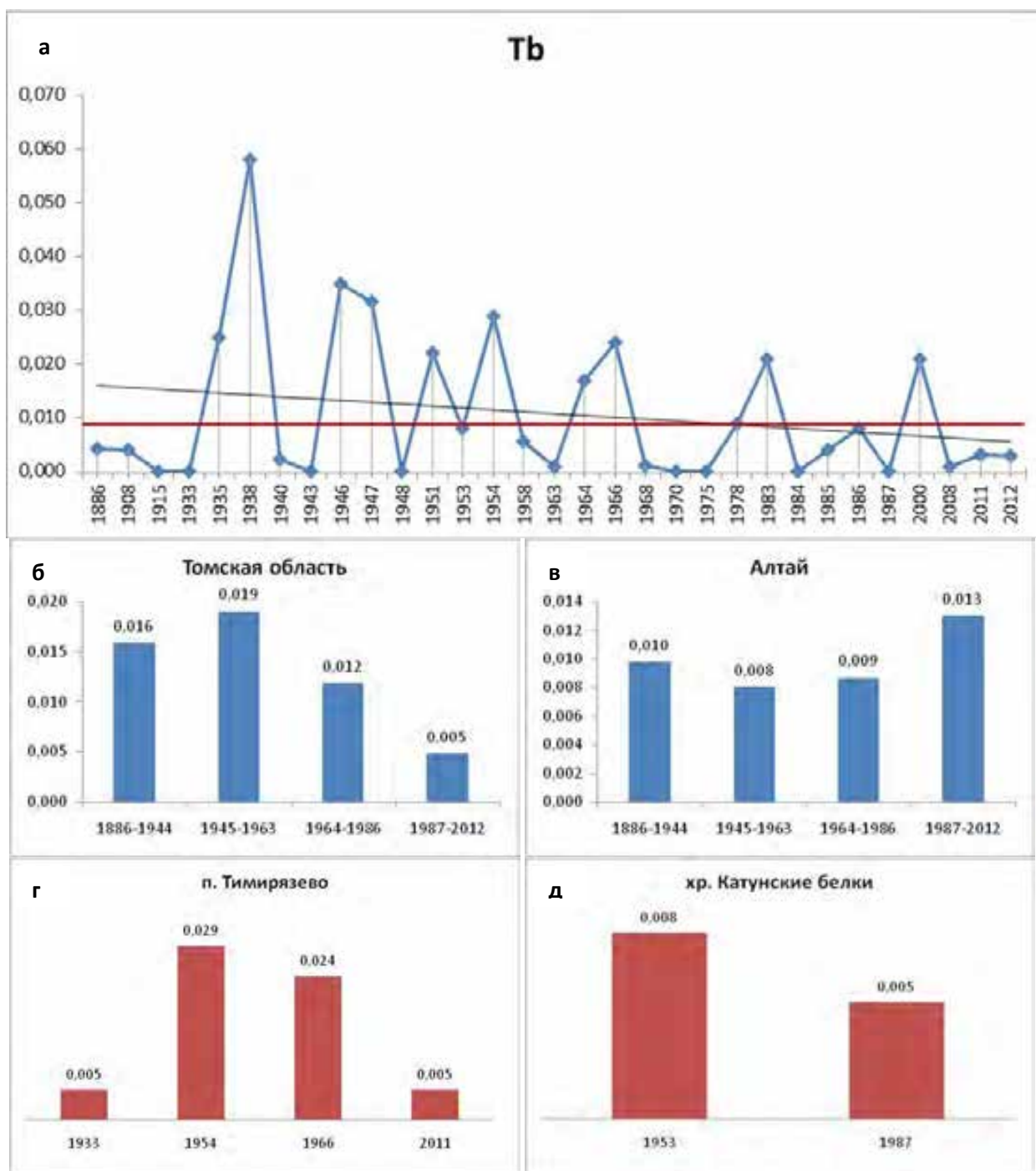


Рисунок В.21 - Динамика содержания тербия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хребет Катунские белки (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

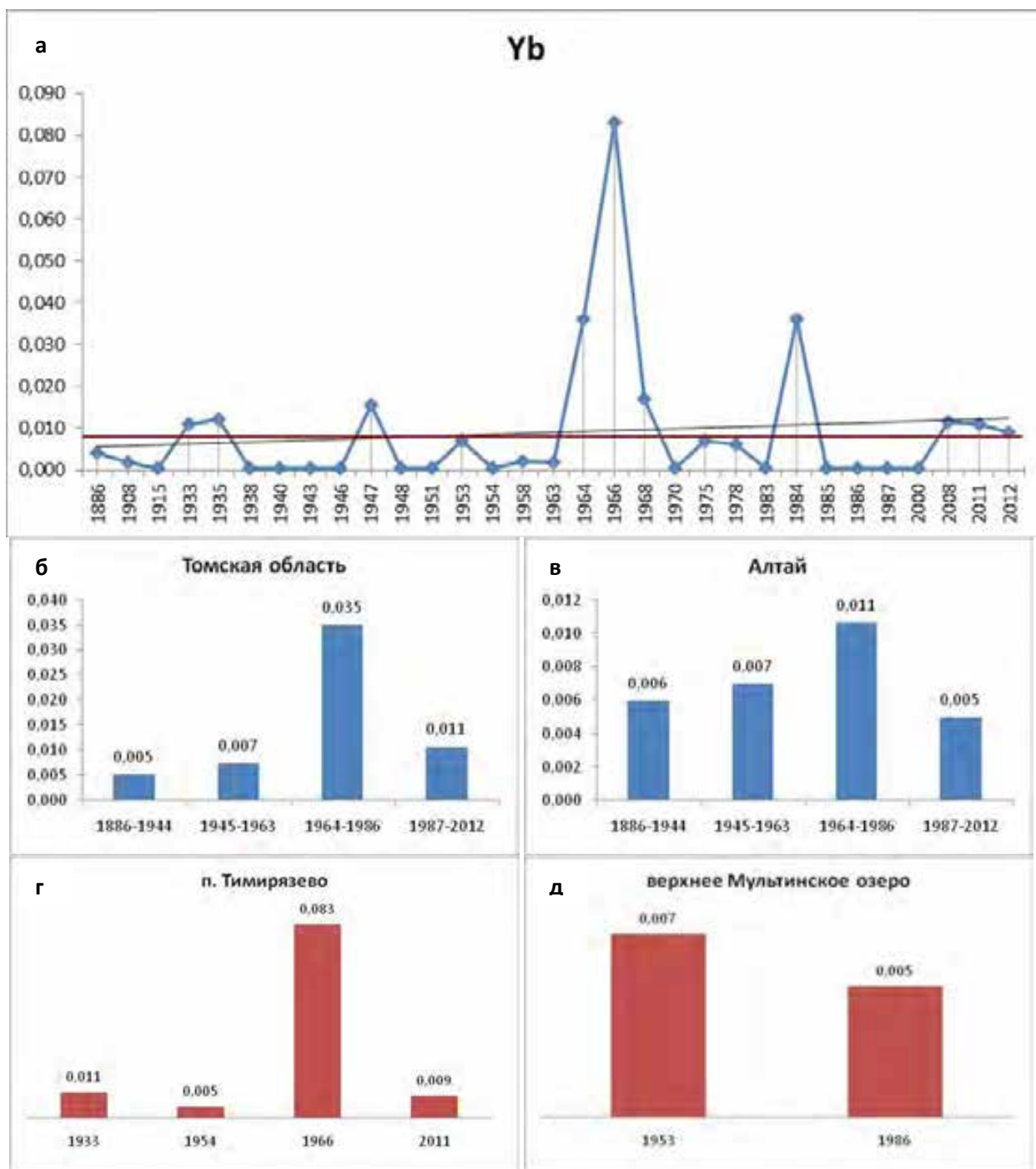


Рисунок В.22 - Динамика содержания иттербия в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

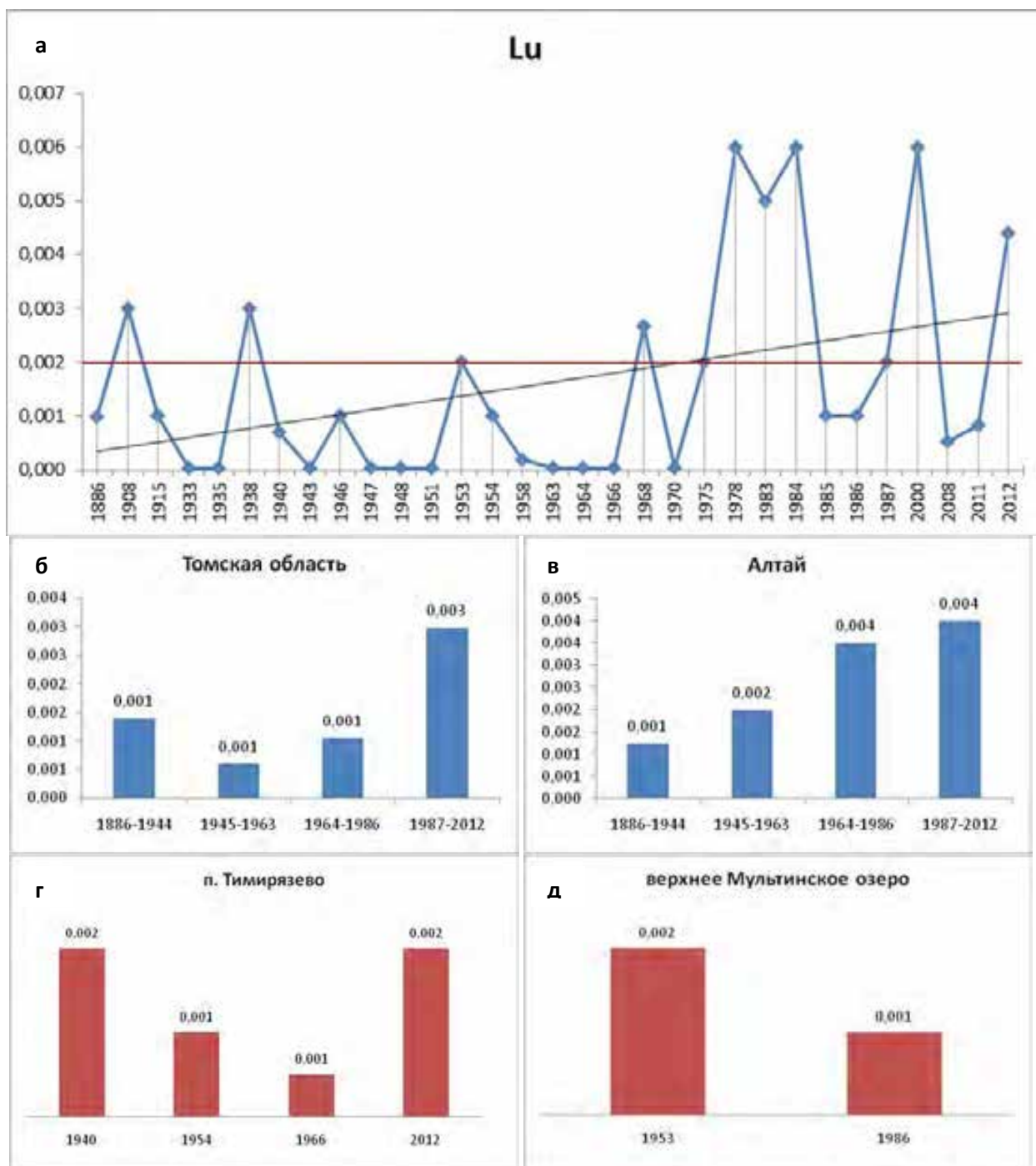


Рисунок В.23 - Динамика содержания лютеция в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

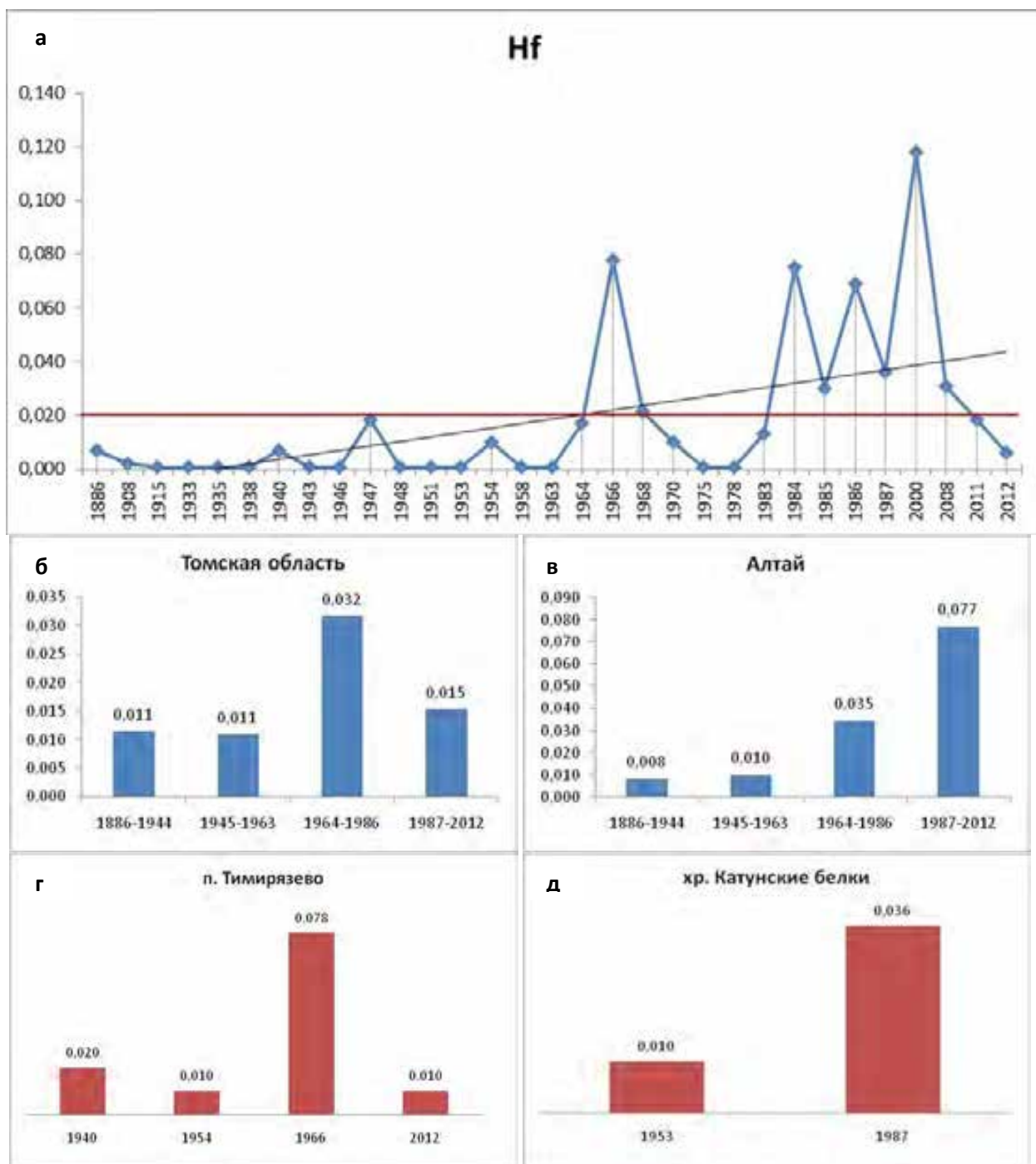


Рисунок В.24 - Динамика содержания гафния в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – хребет Катунские белки (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

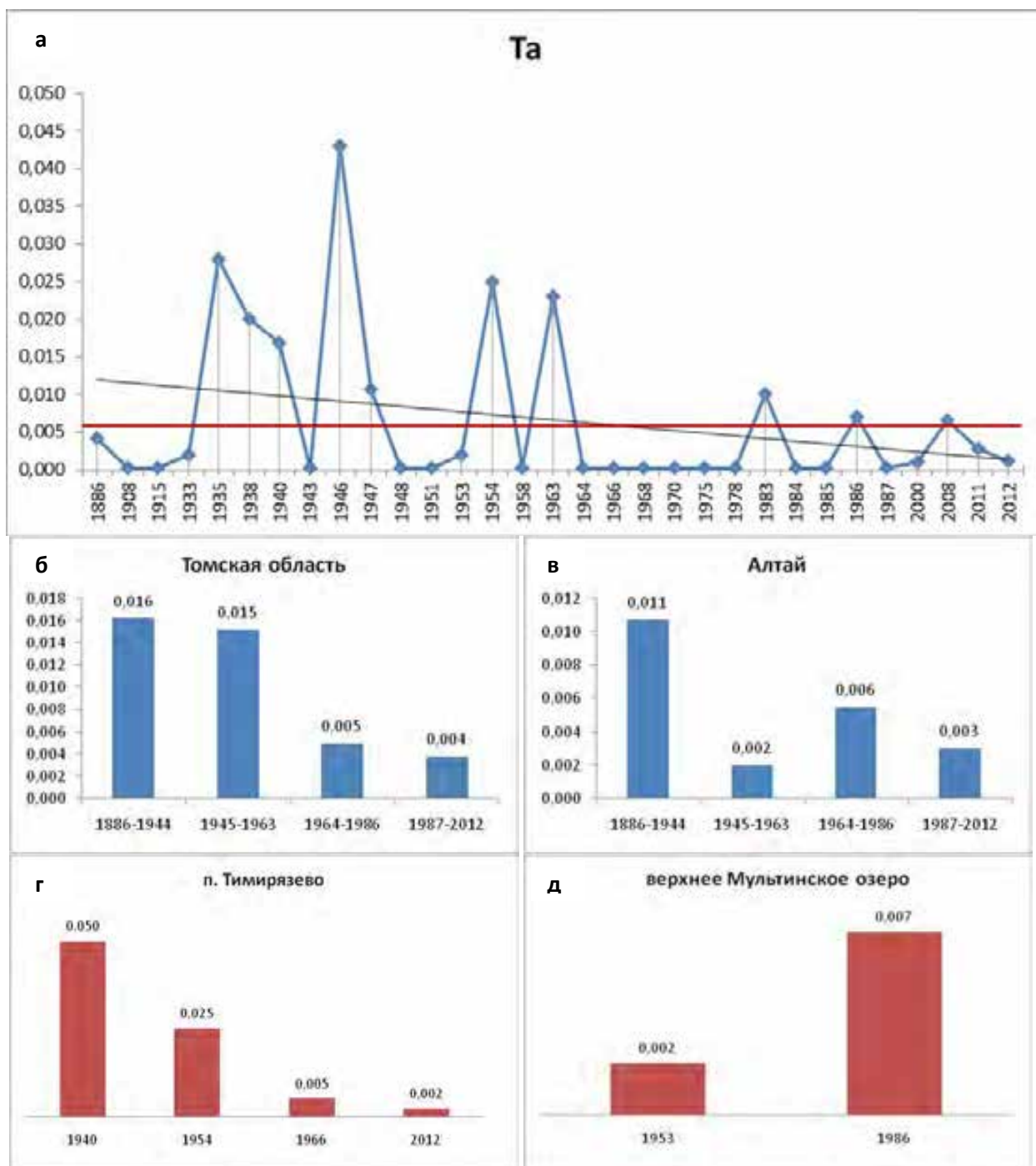


Рисунок В.25 - Динамика содержания тантала в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по юга Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

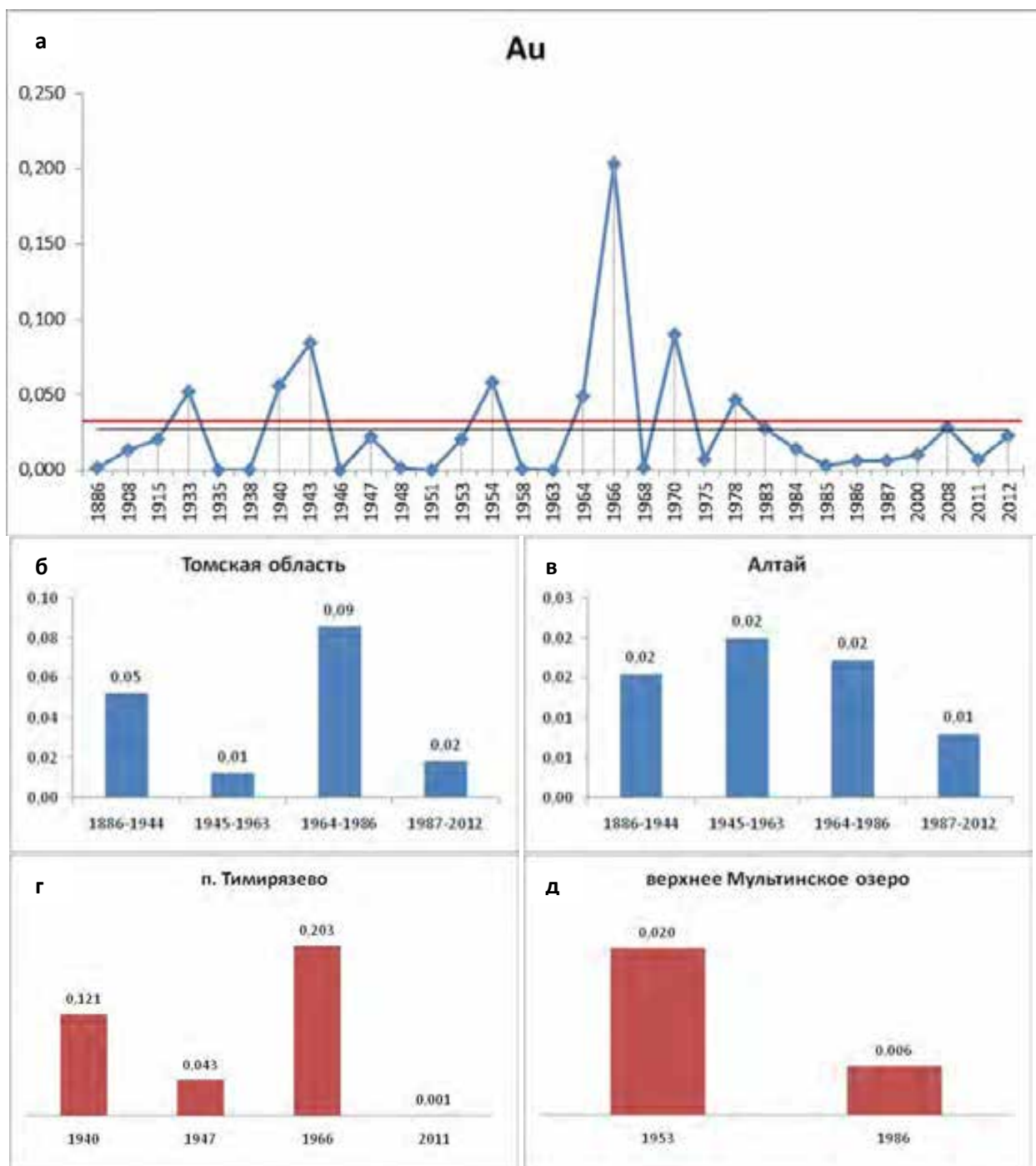


Рисунок В.26 - Динамика содержания золота в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

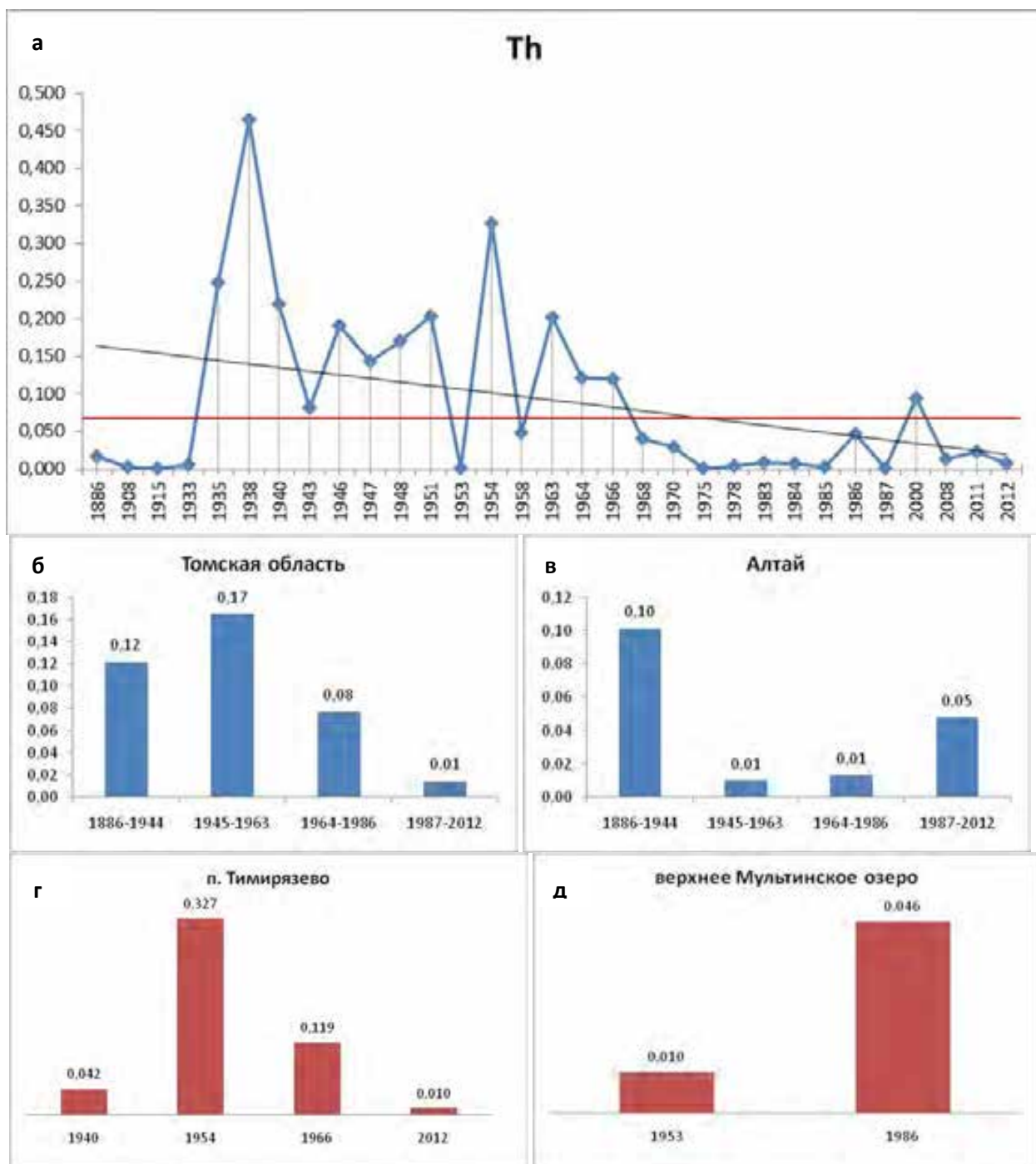


Рисунок В.27 - Динамика содержания тория в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; ——— - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

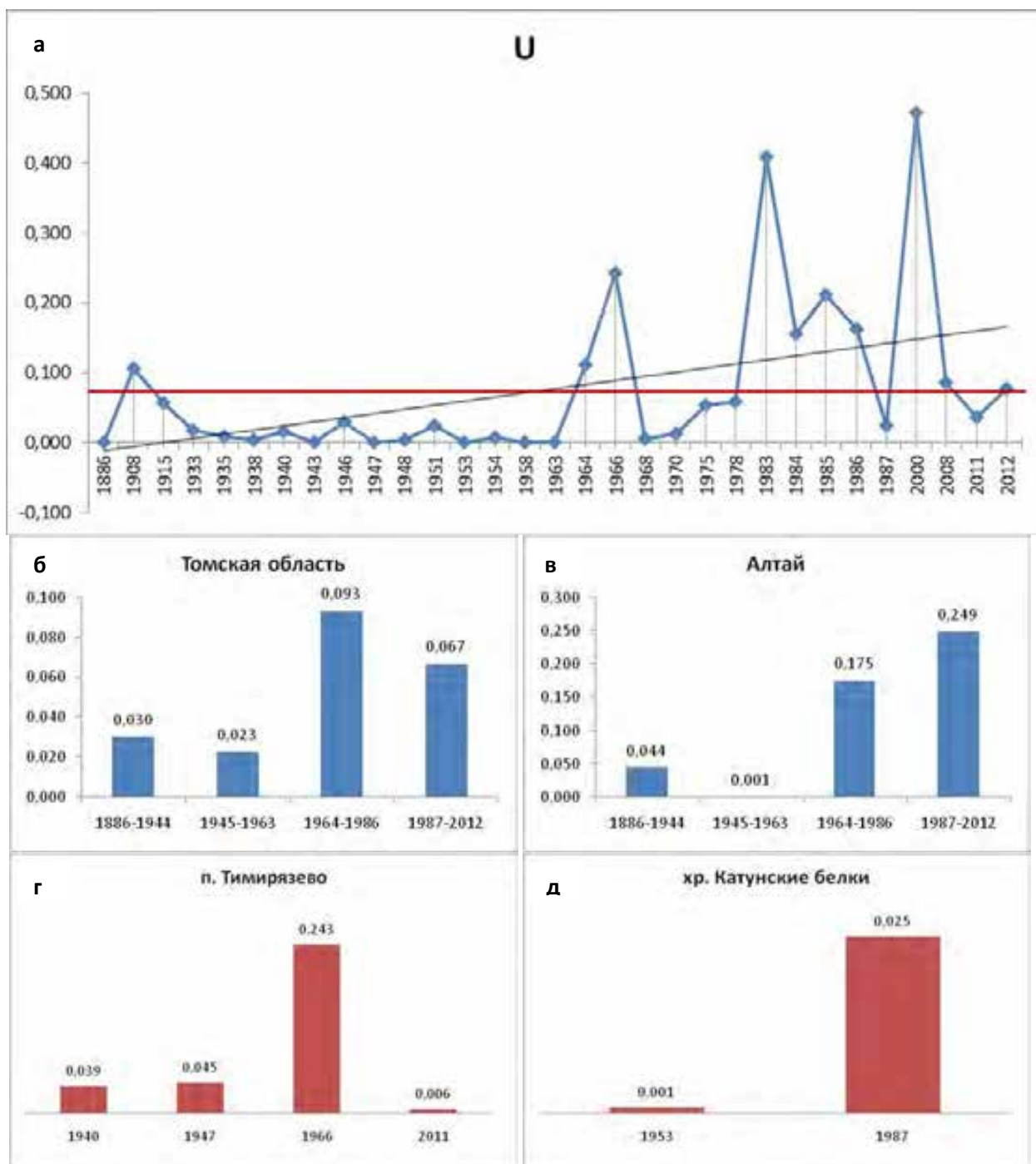


Рисунок В.28 - Динамика содержания урана в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – п. Тимирязево (Томская область); д – верхнее Мультиинское озеро (Республика Алтай); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

Приложение Г
(обязательное)

Динамика содержания химических элементов в бруснике
(*Vaccinium vitis-idaea*)

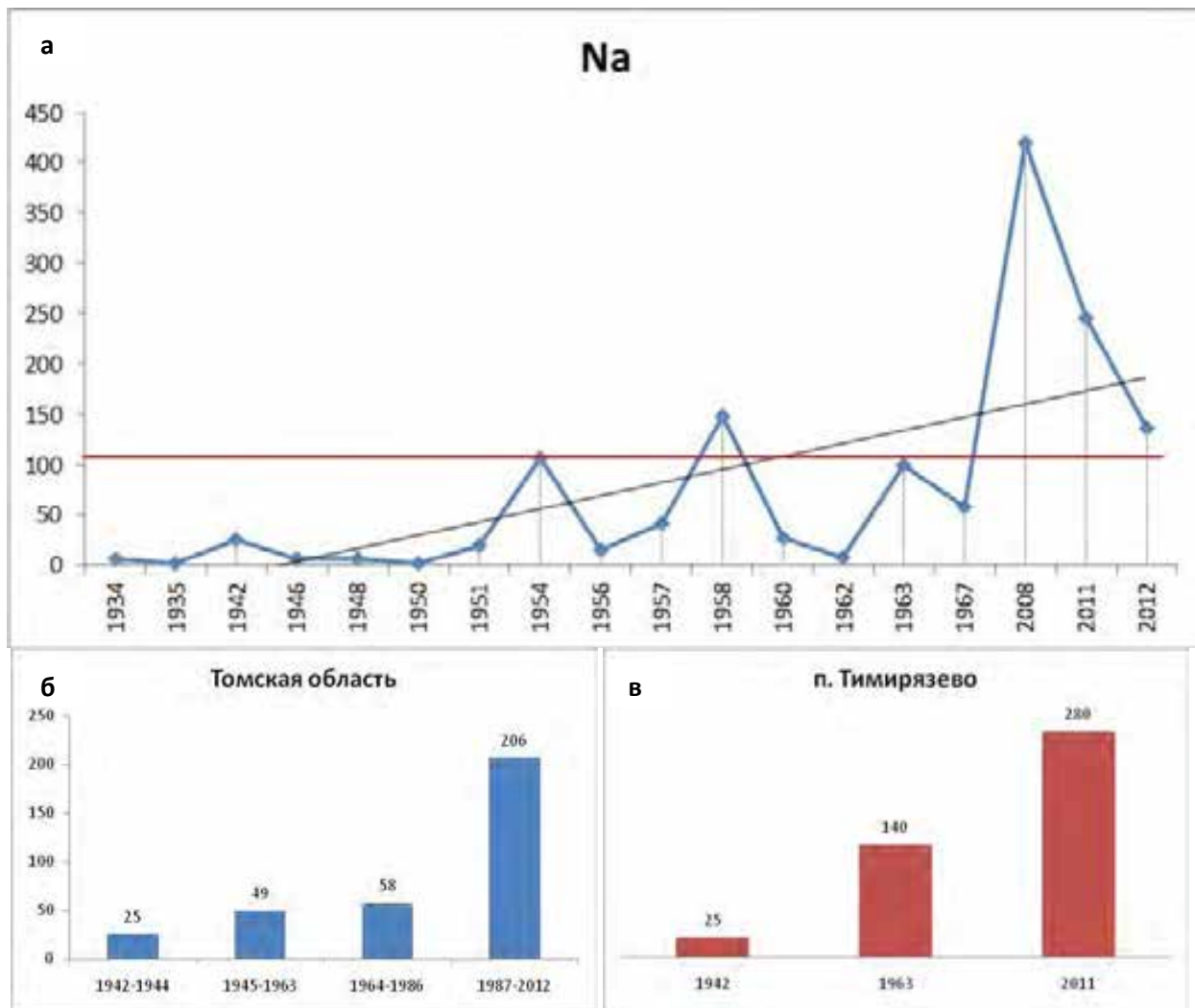


Рисунок Г.1 - Динамика содержания натрия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

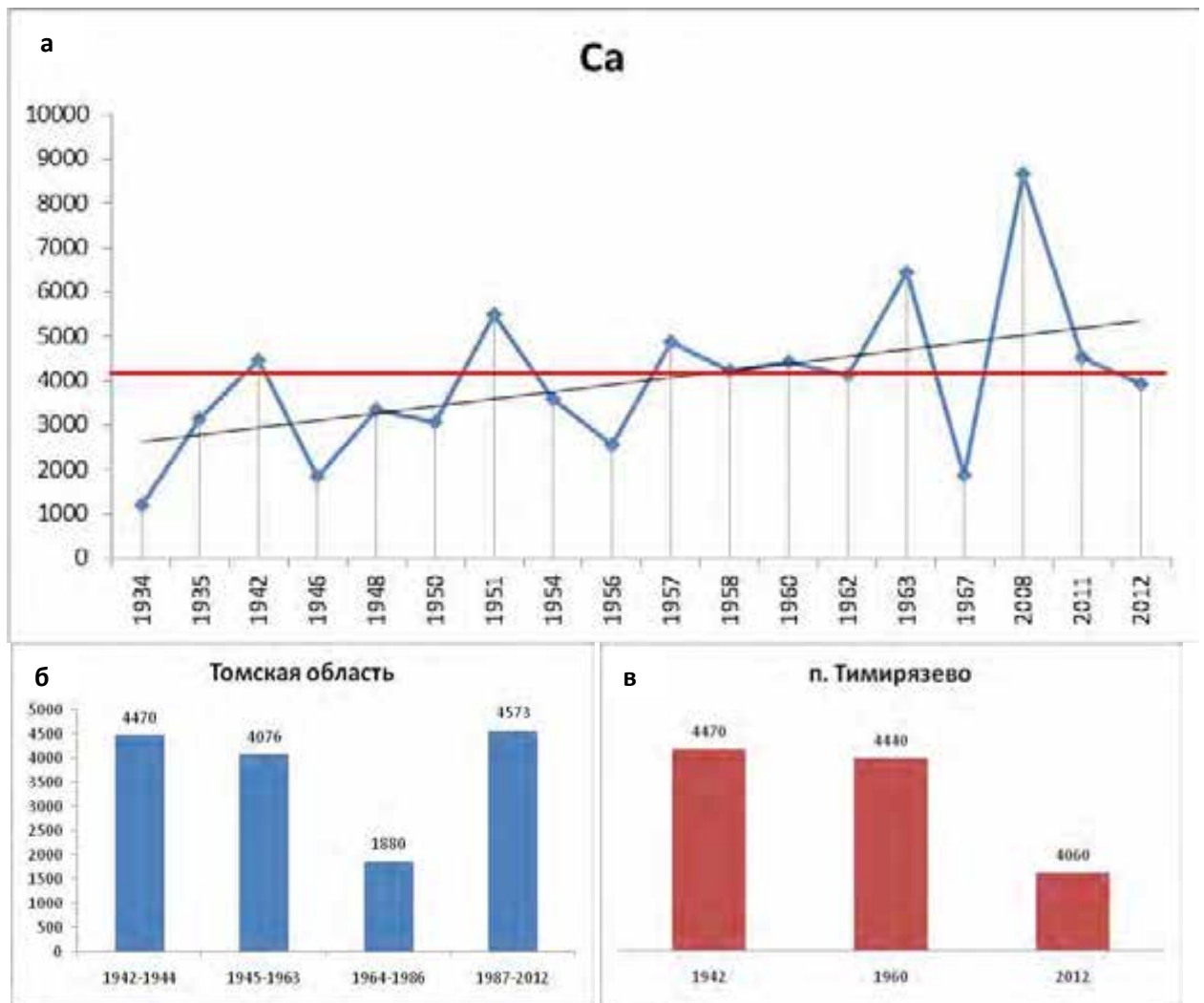


Рисунок Г.2 - Динамика содержания кальция в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — — — — — среднее содержание элемента; — — — — — тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

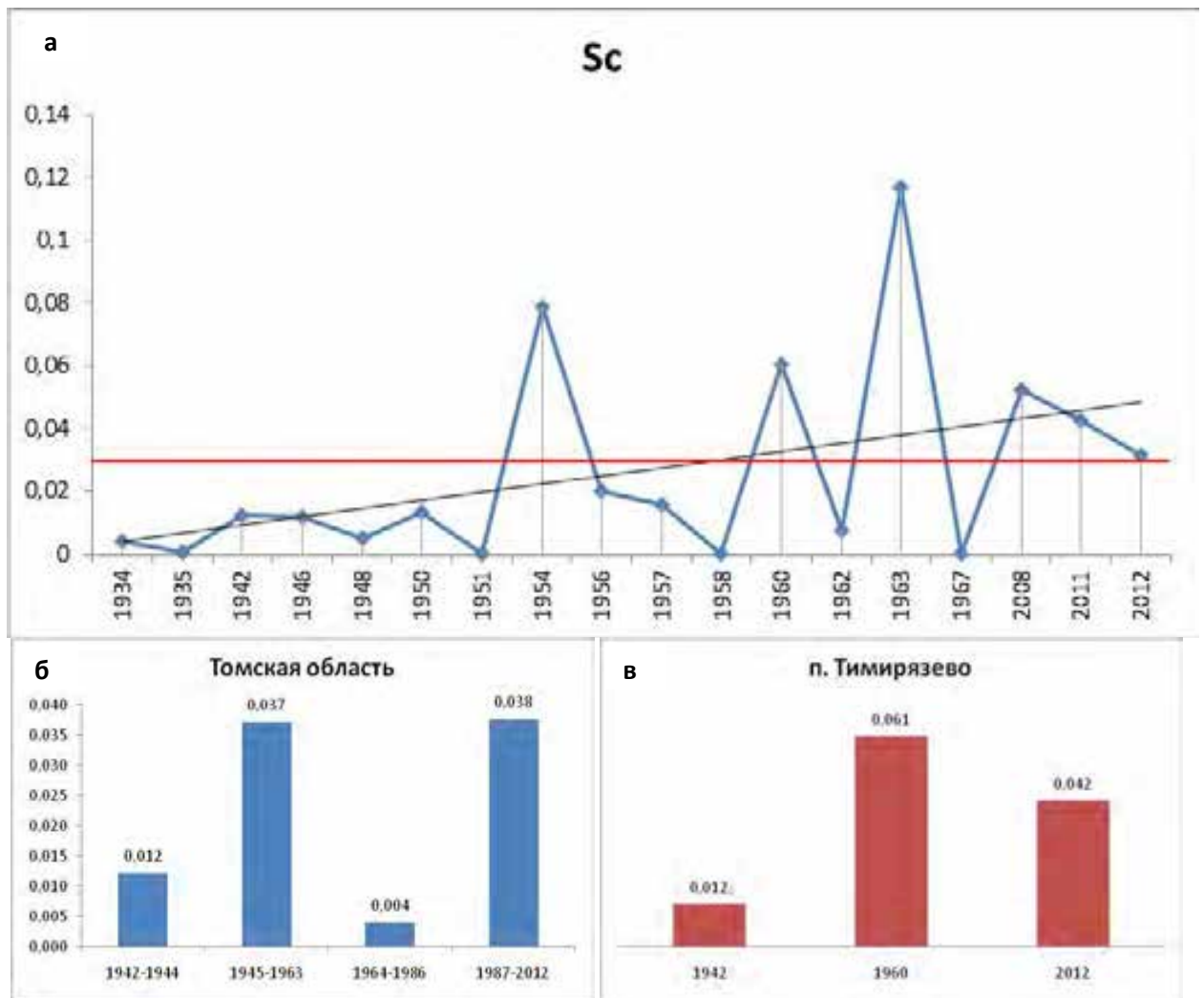


Рисунок Г.3 - Динамика содержания скандия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

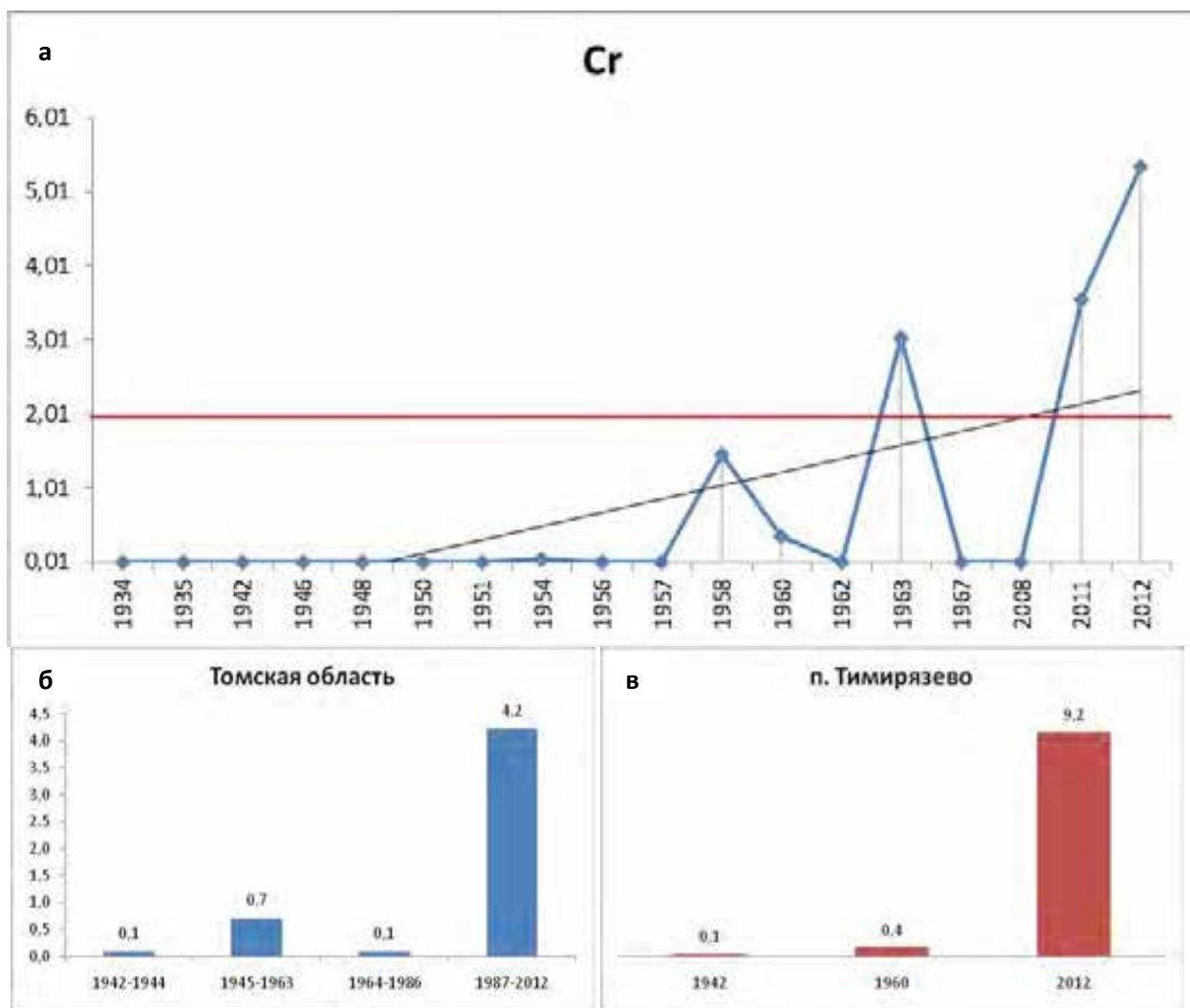


Рисунок Г.4 - Динамика содержания хрома в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — (red line) - среднее содержание элемента; — (black line) - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

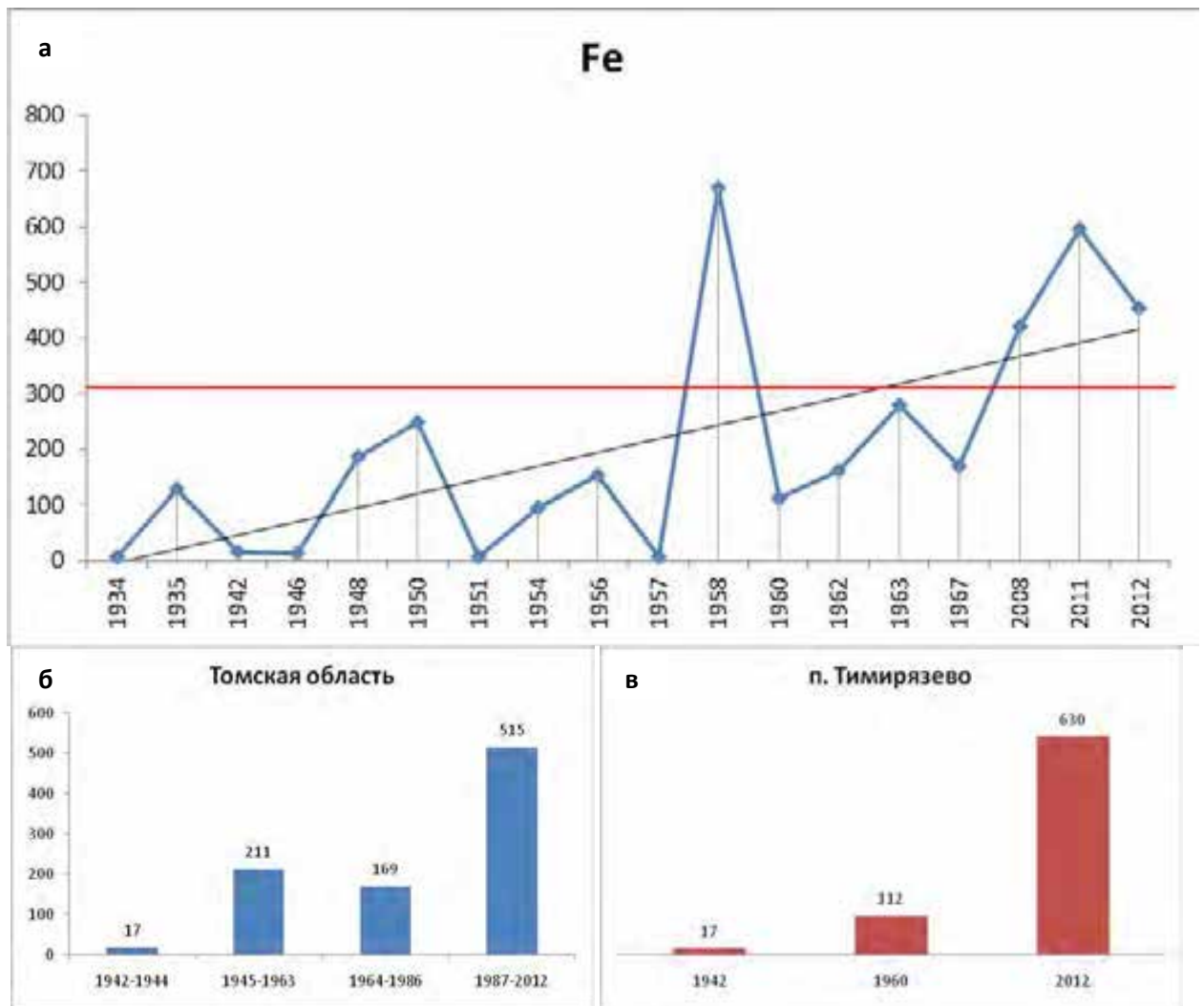


Рисунок Г.5 - Динамика содержания железа в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

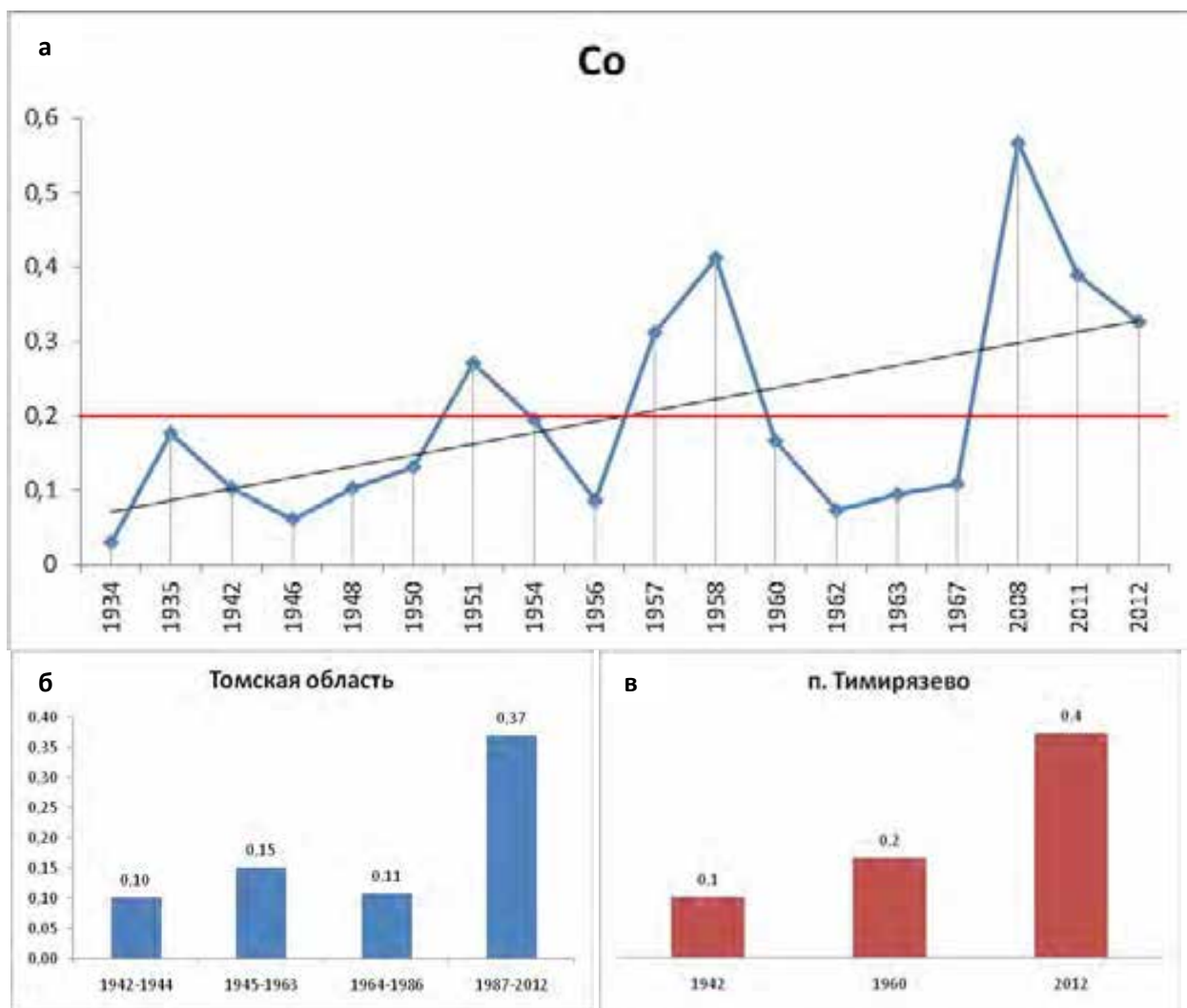


Рисунок Г.6 - Динамика содержания кобальта в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

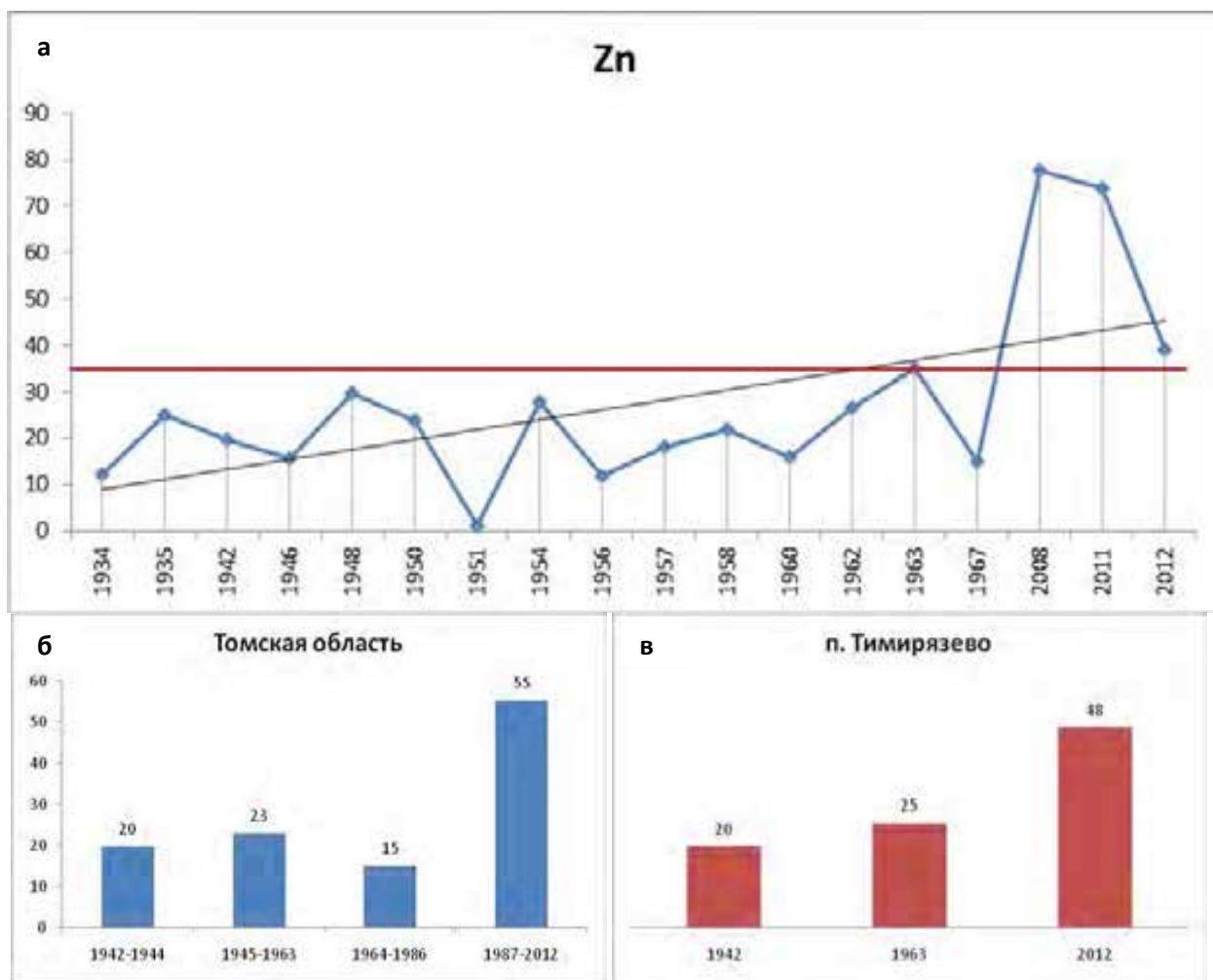


Рисунок Г.7 - Динамика содержания цинка в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

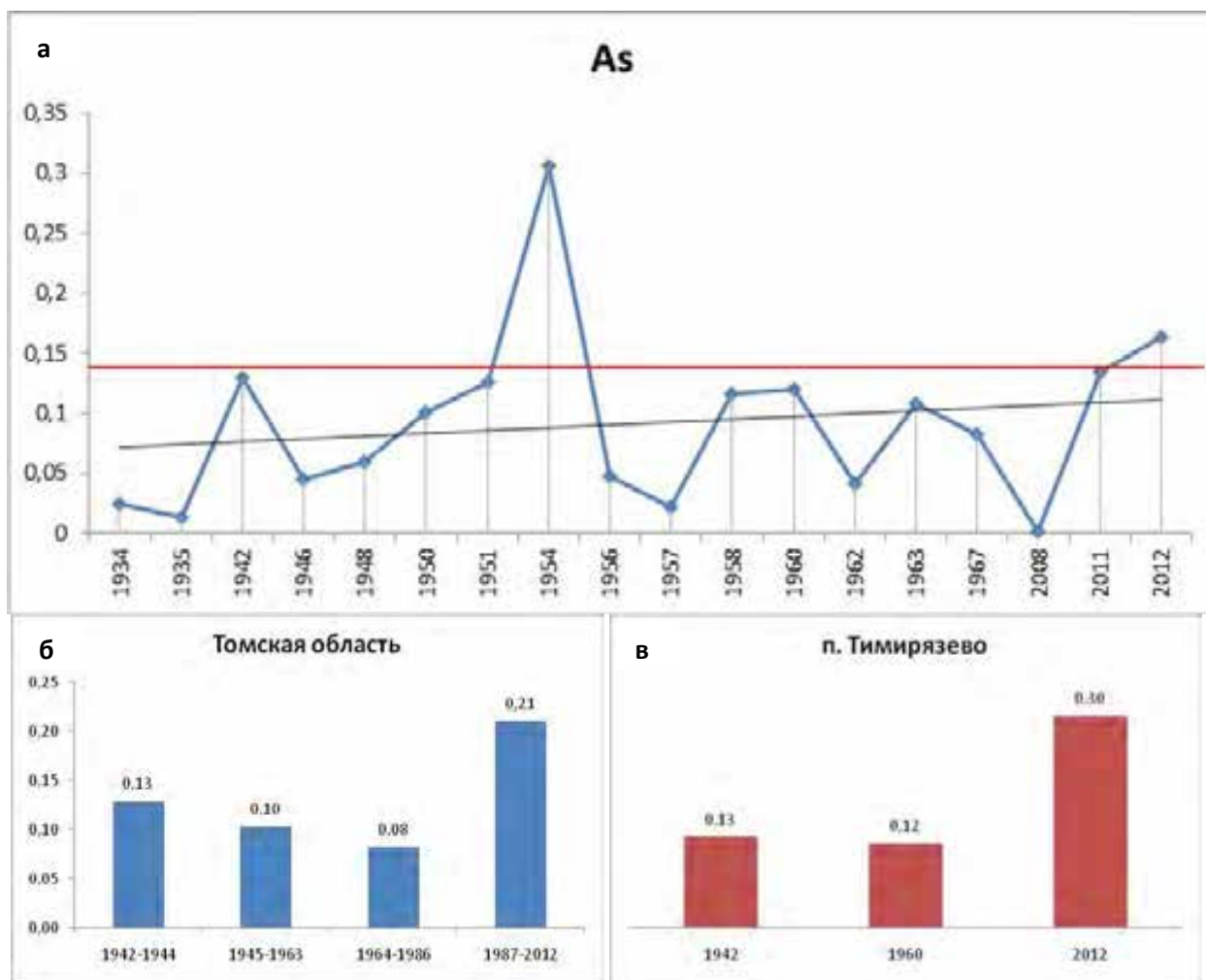


Рисунок Г.8 - Динамика содержания мышьяка в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

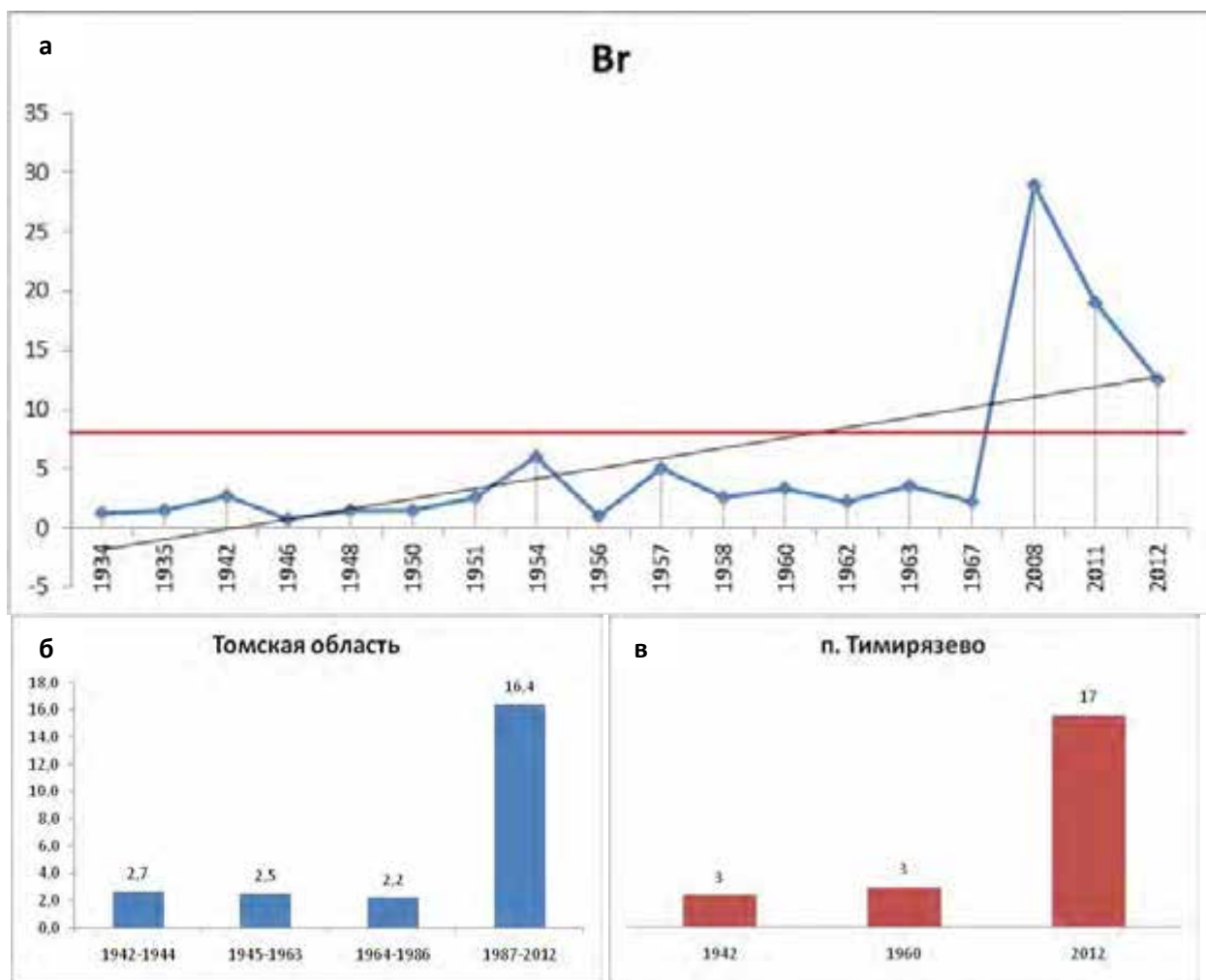


Рисунок Г.9 - Динамика содержания брома в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

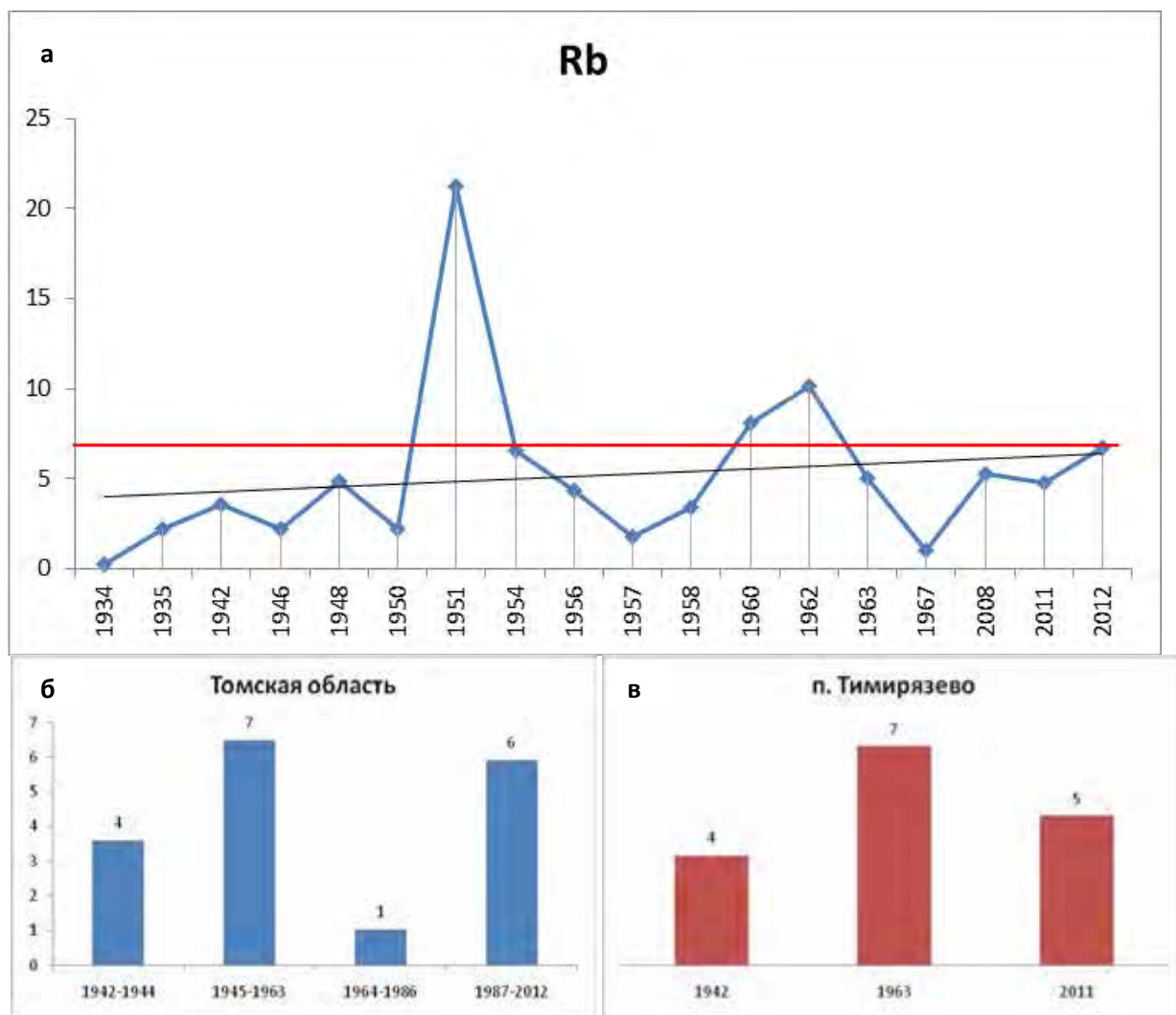


Рисунок Г.10 - Динамика содержания рубидия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

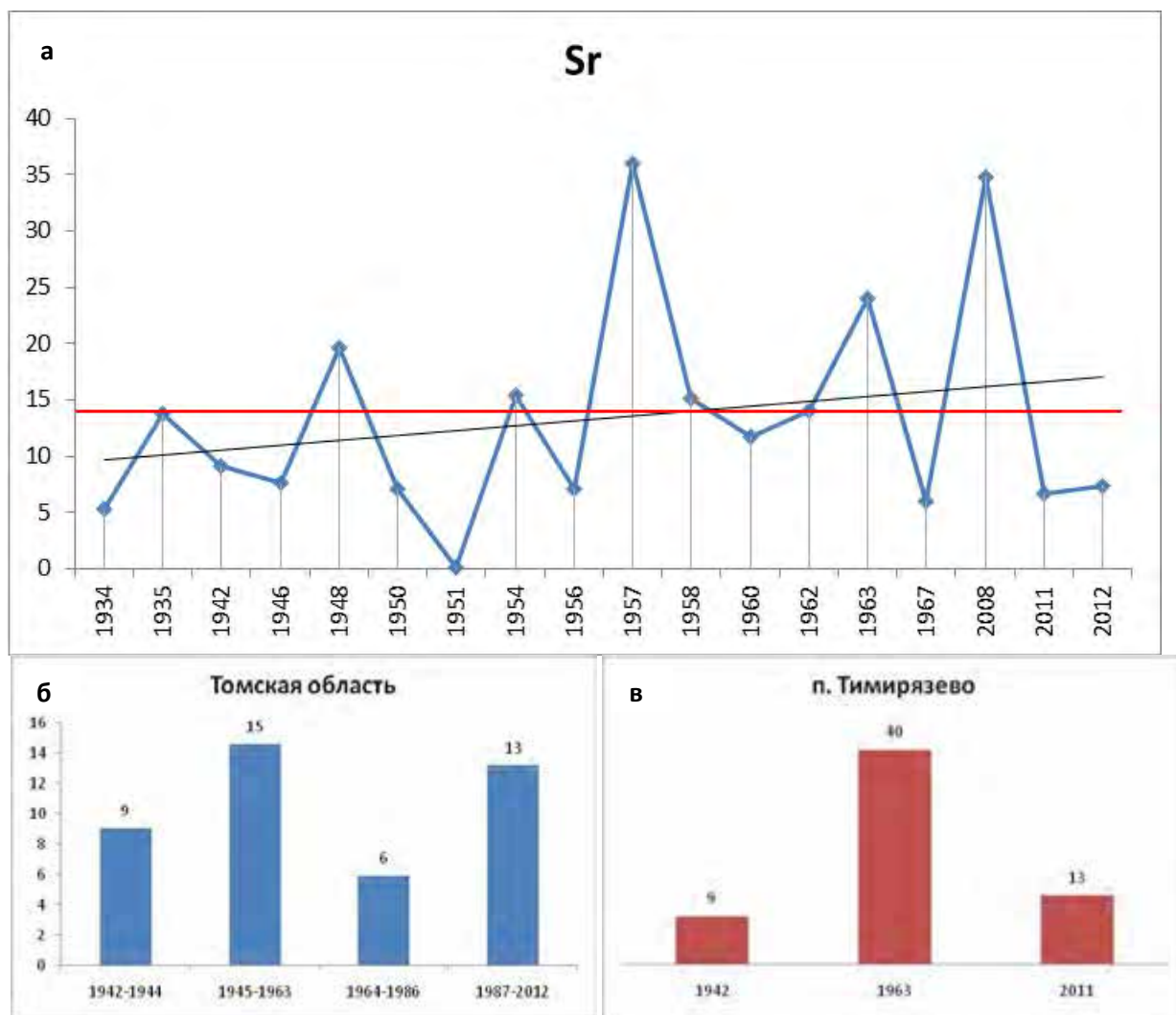


Рисунок Г.11 - Динамика содержания стронция в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

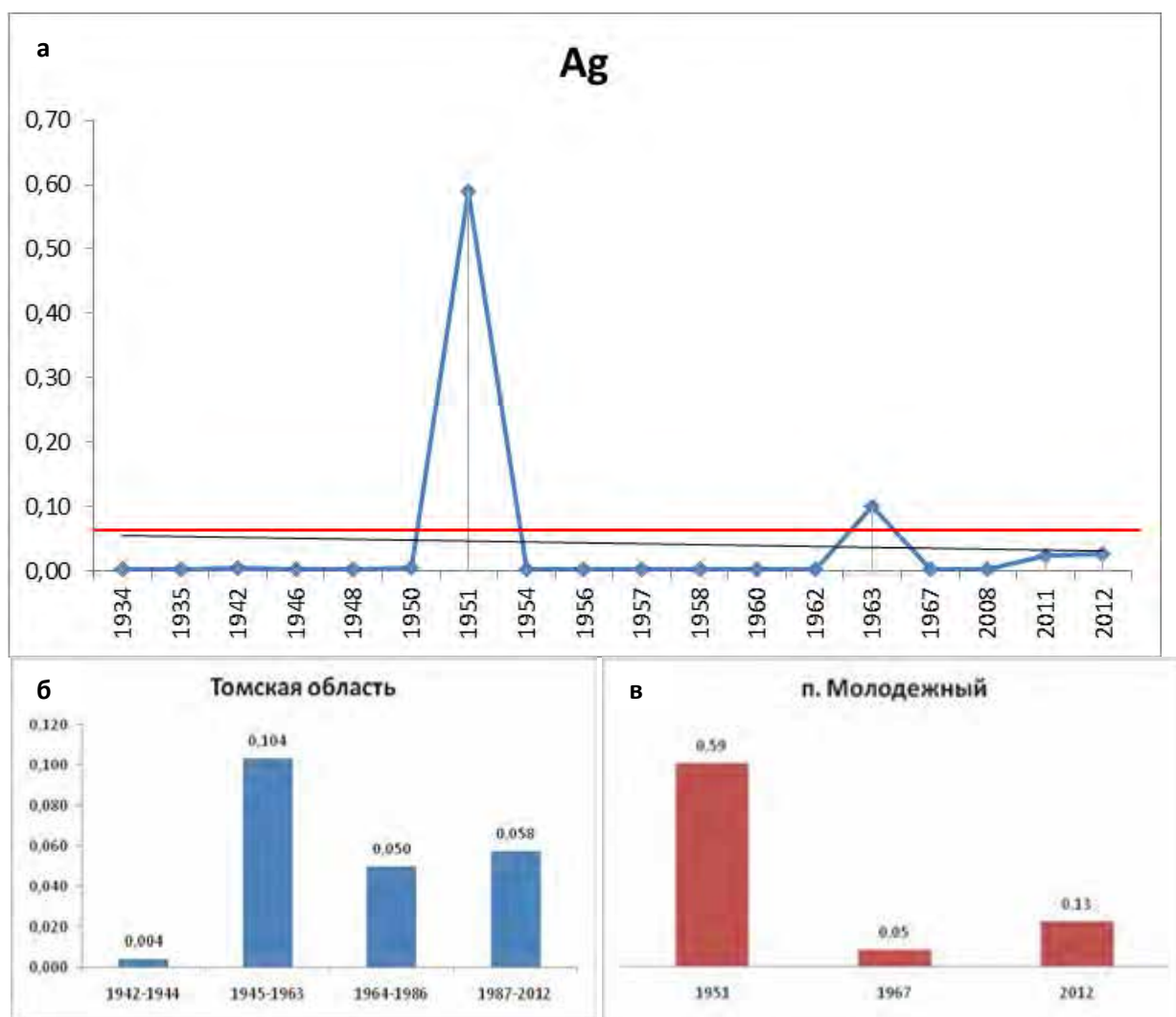


Рисунок Г.12 - Динамика содержания серебра в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Молодежный (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

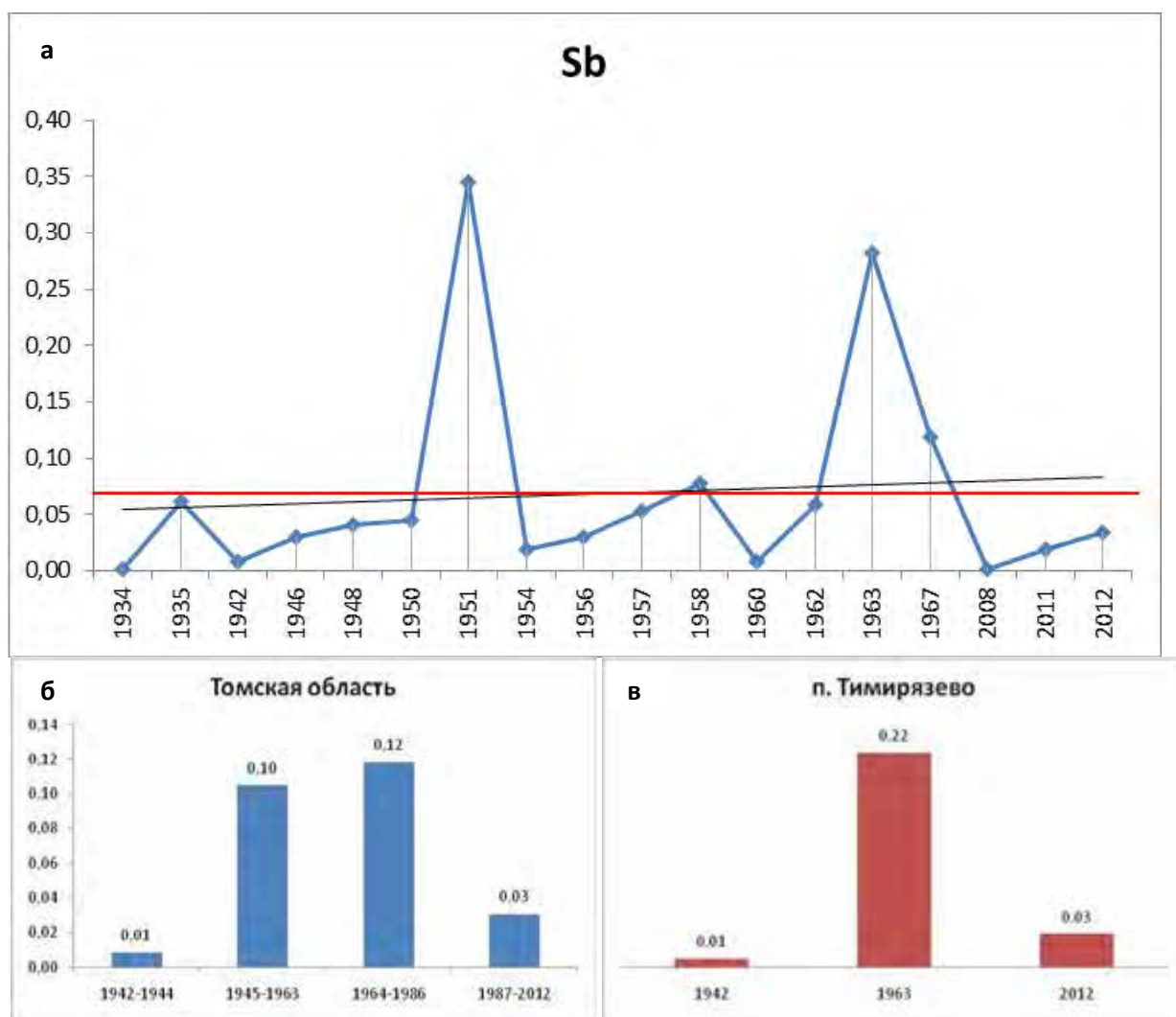


Рисунок Г.13 - Динамика содержания сурьмы в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

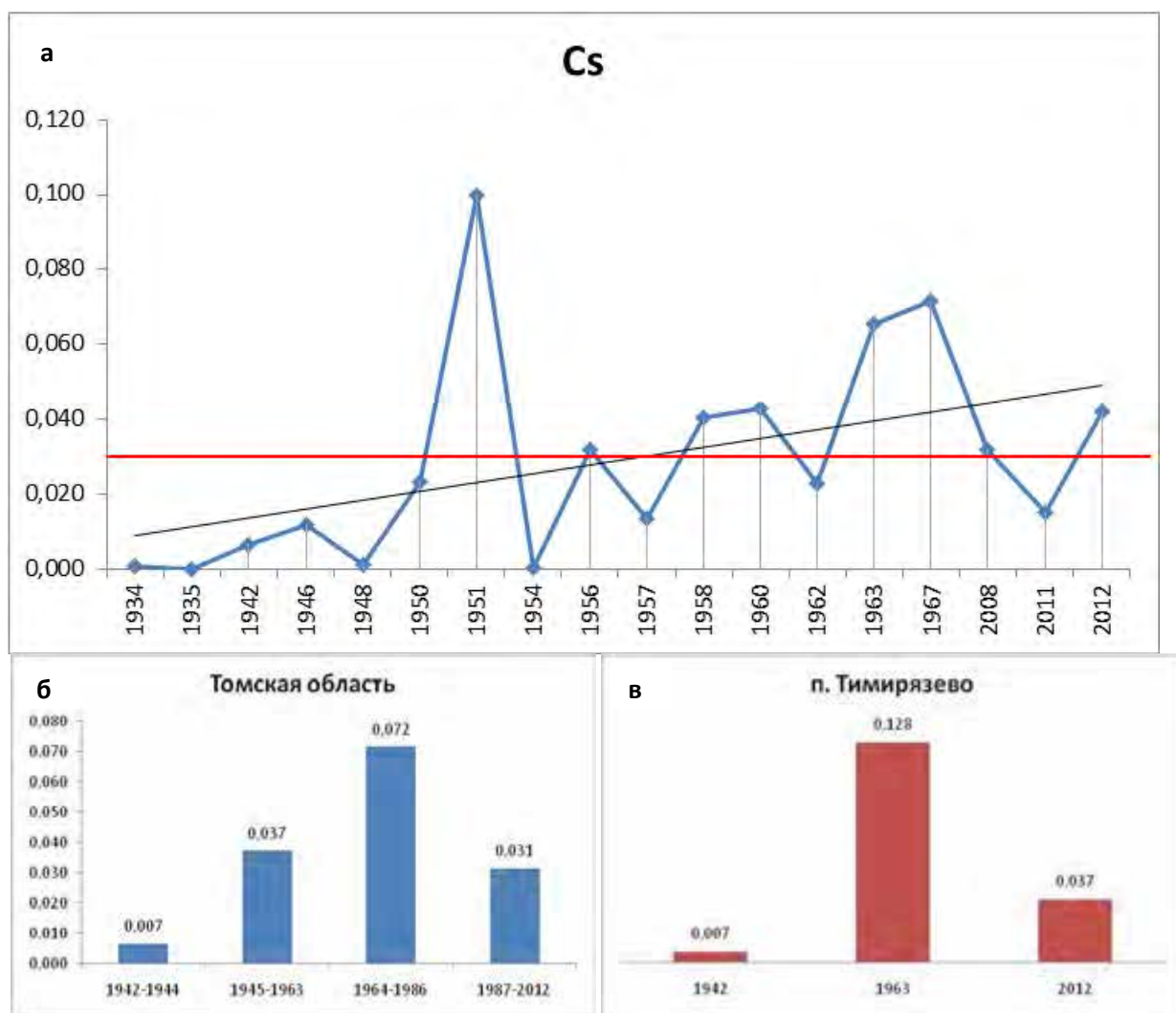


Рисунок Г.14 - Динамика содержания цезия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

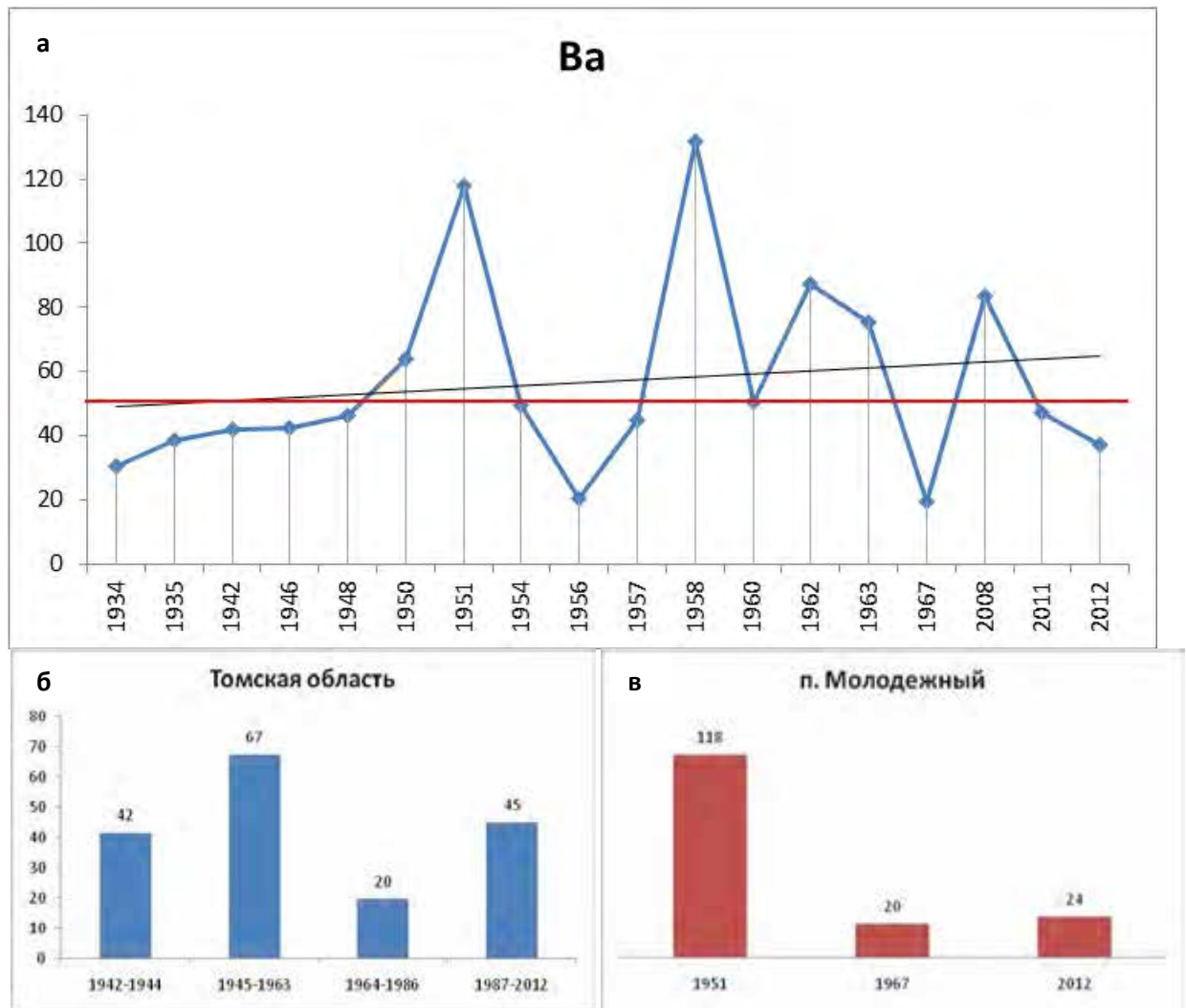


Рисунок Г.15 - Динамика содержания бария в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Молодежный (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

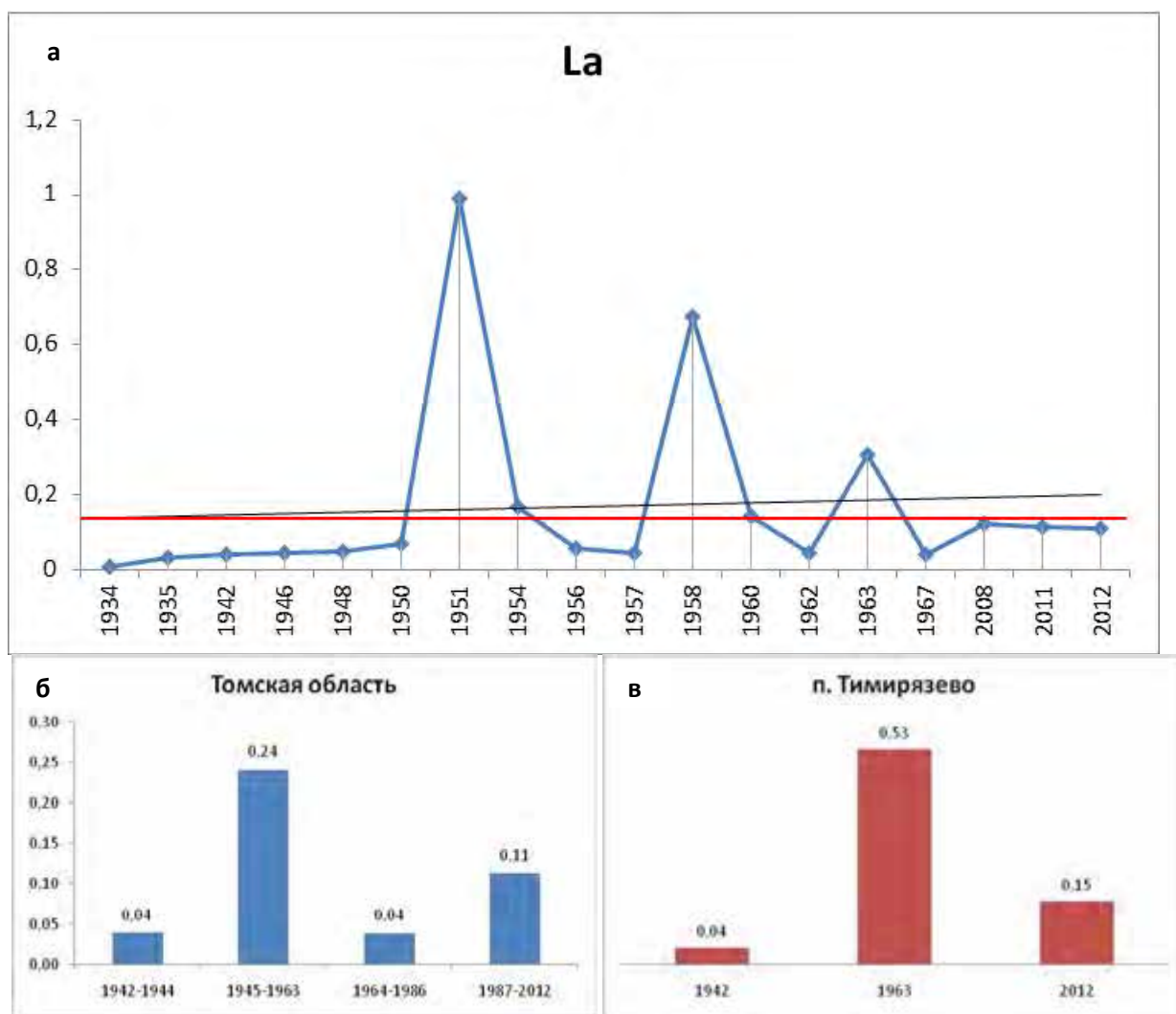


Рисунок Г.16 - Динамика содержания лантана в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

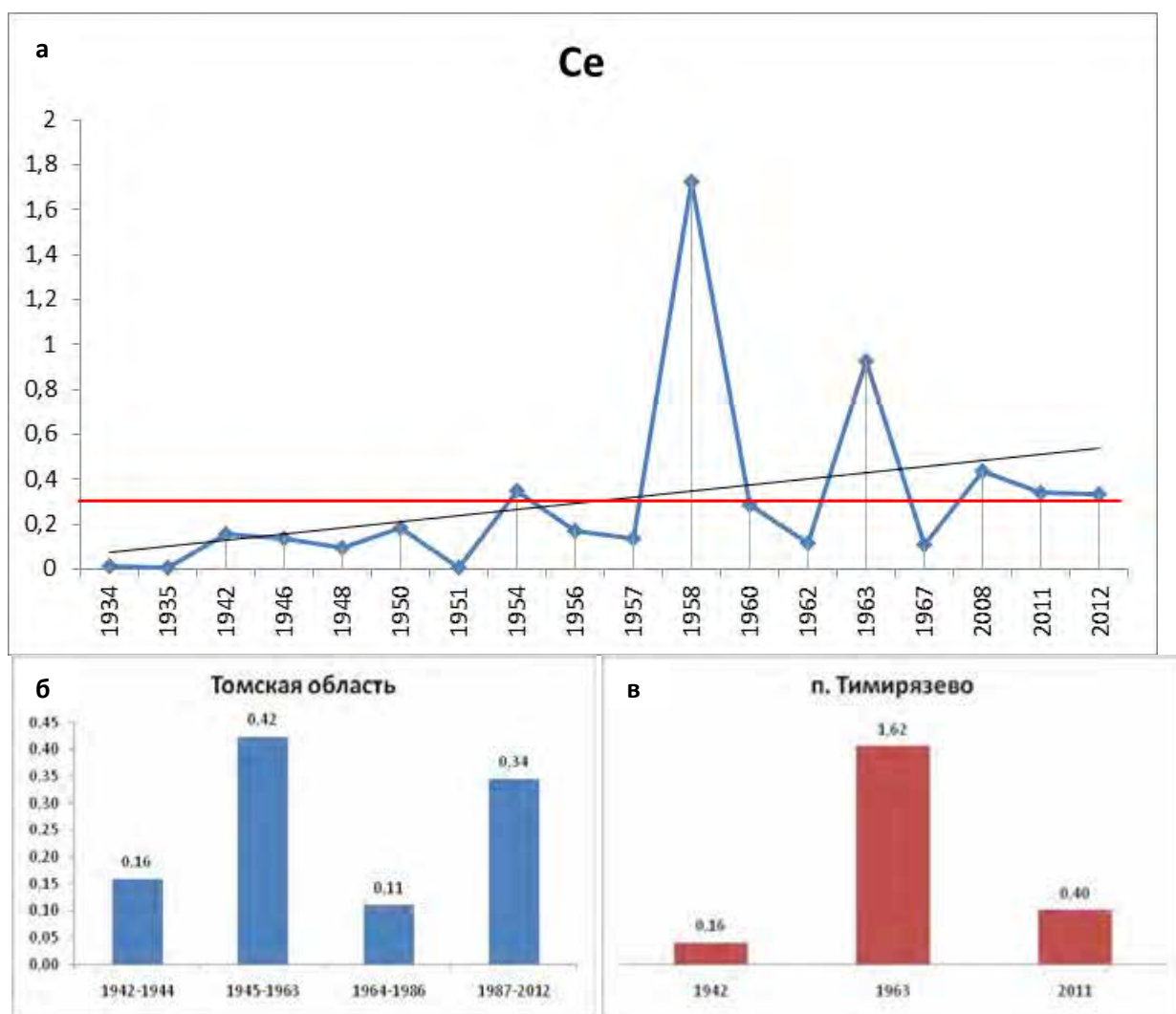


Рисунок Г.17 - Динамика содержания церия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

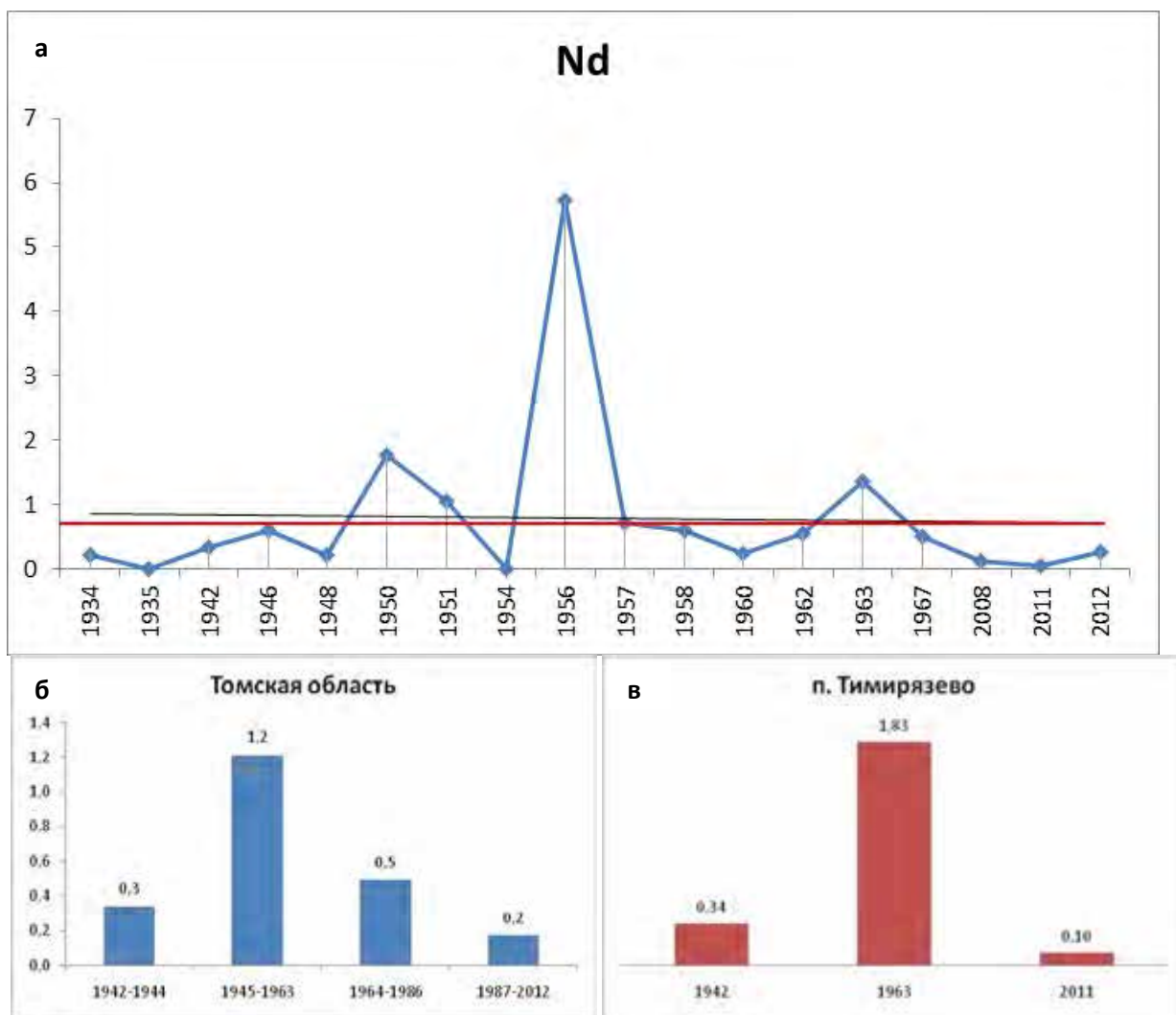


Рисунок Г.18 - Динамика содержания неодима в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

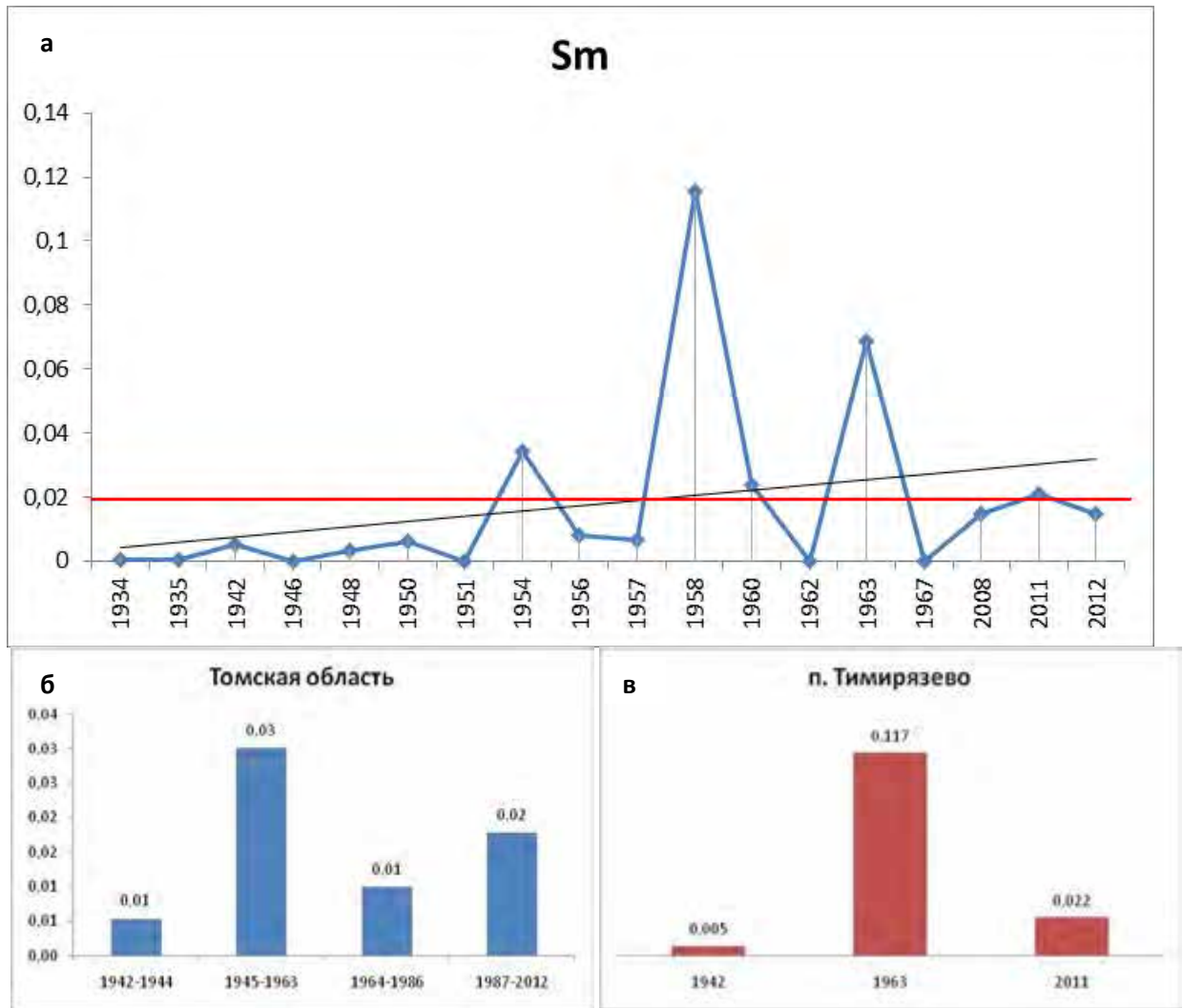


Рисунок Г.19 - Динамика содержания самария в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

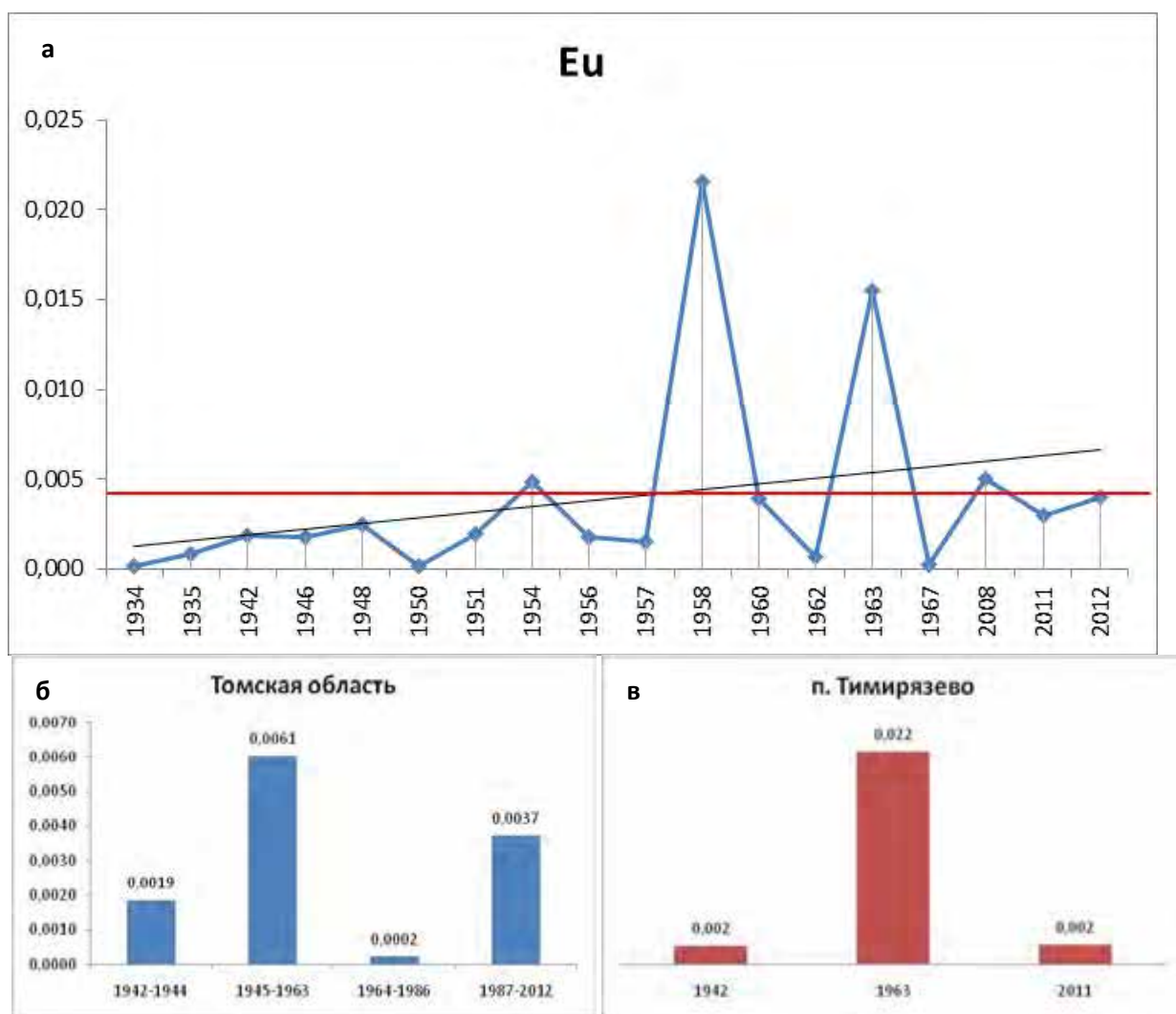


Рисунок Г.20 - Динамика содержания европия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — (red line) - среднее содержание элемента; — (black line) - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

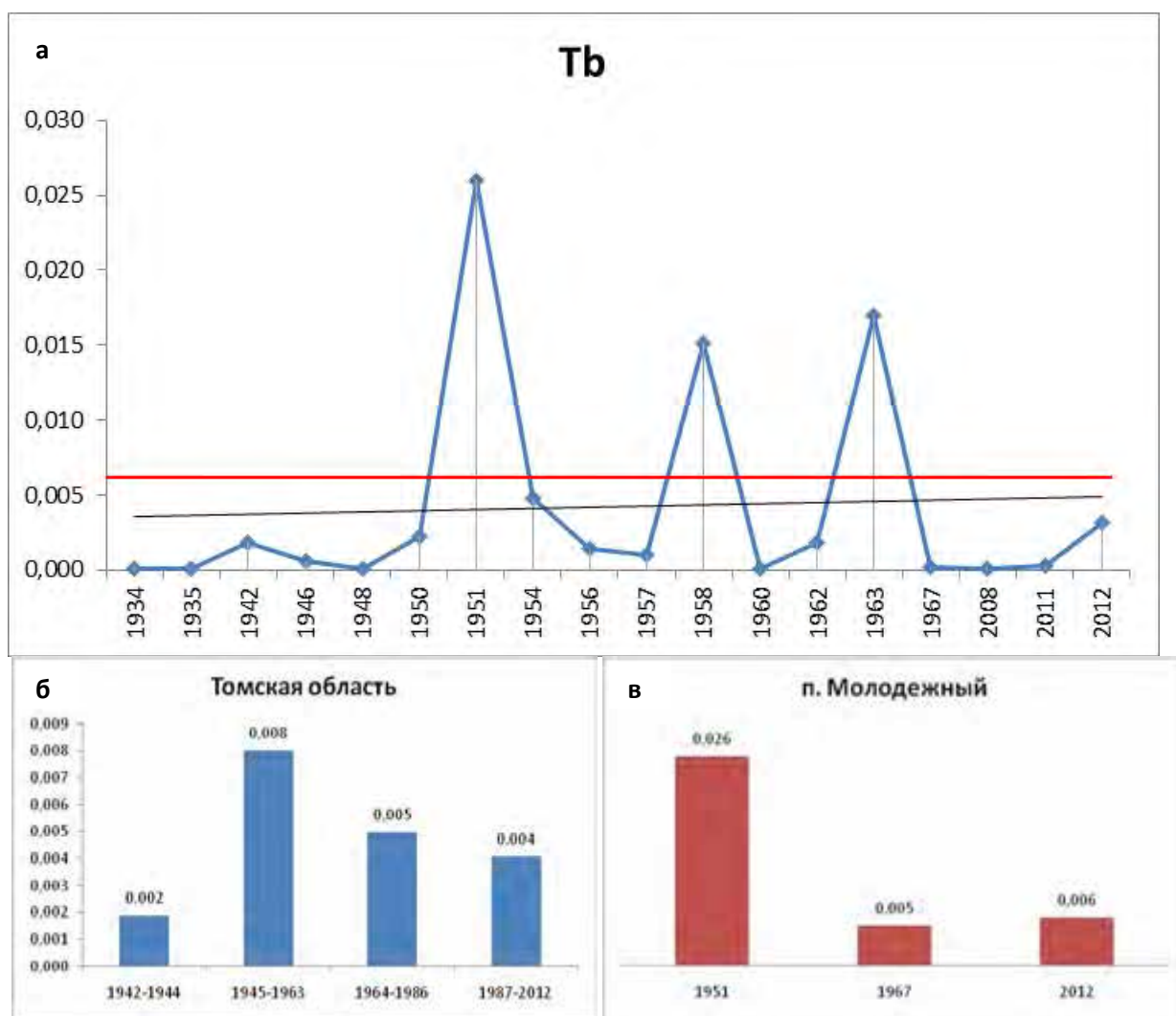


Рисунок Г.21 - Динамика содержания тербия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Молодежный (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

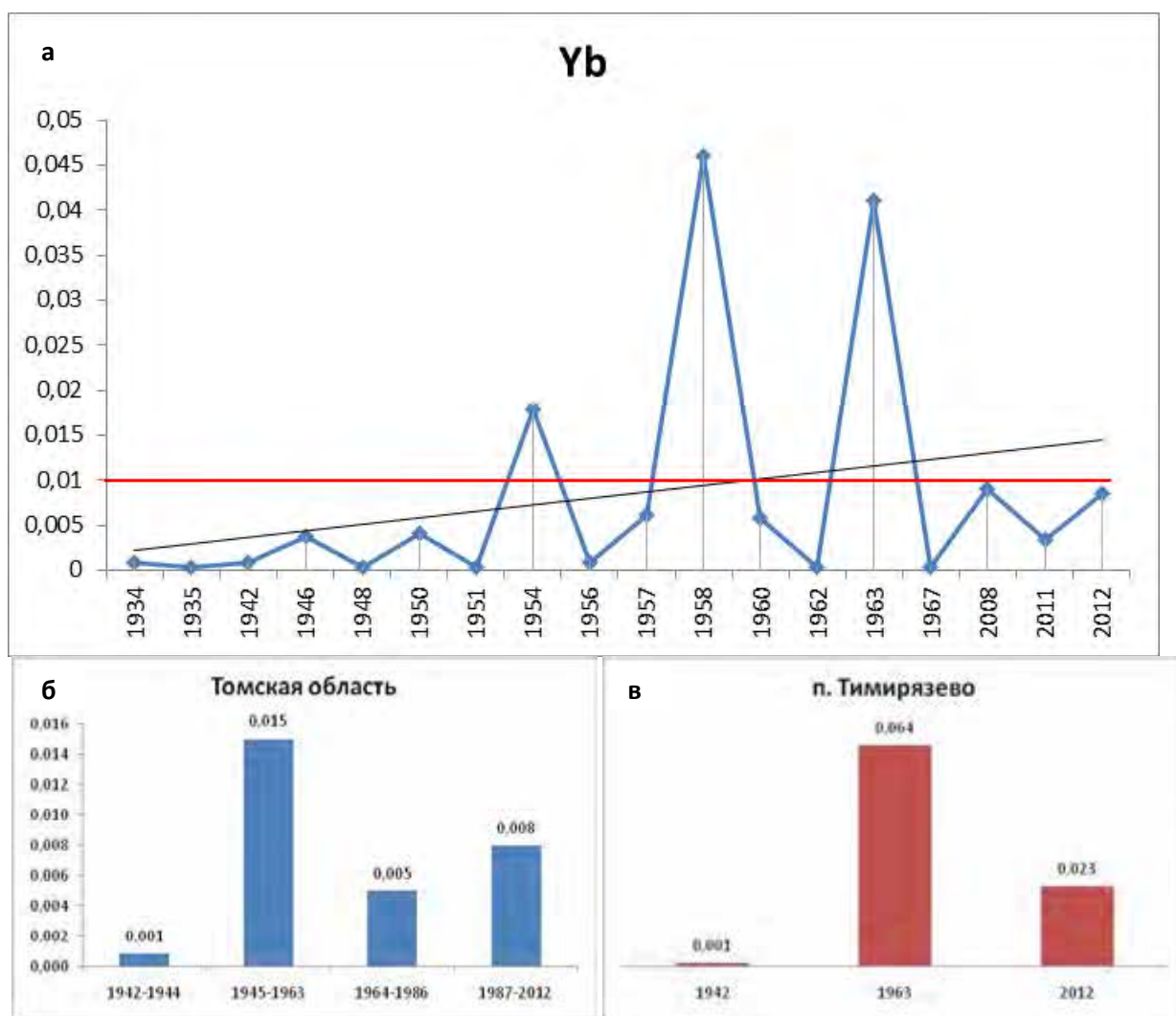


Рисунок Г.22 - Динамика содержания иттербия в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

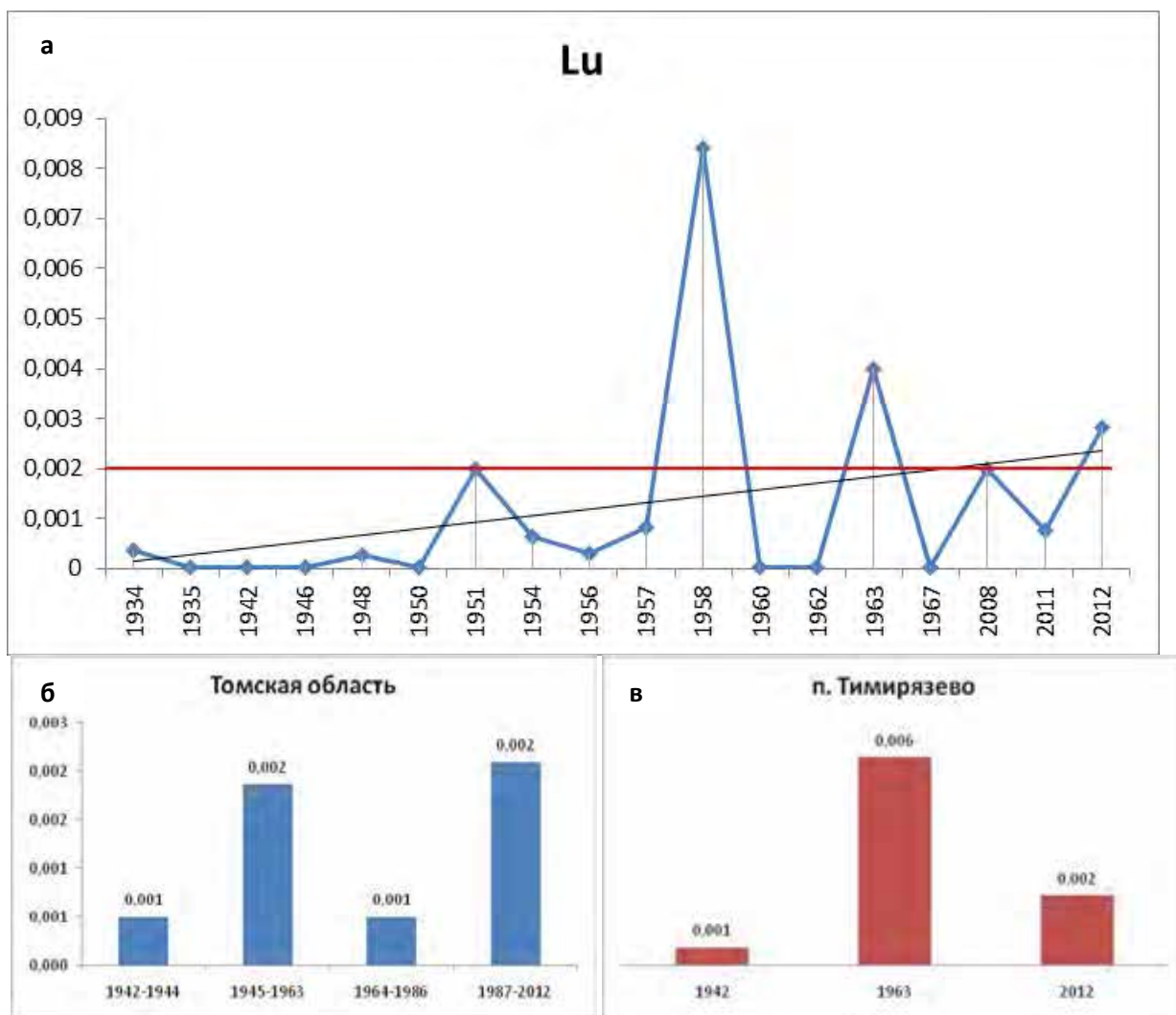


Рисунок Г.23 - Динамика содержания лютеция в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

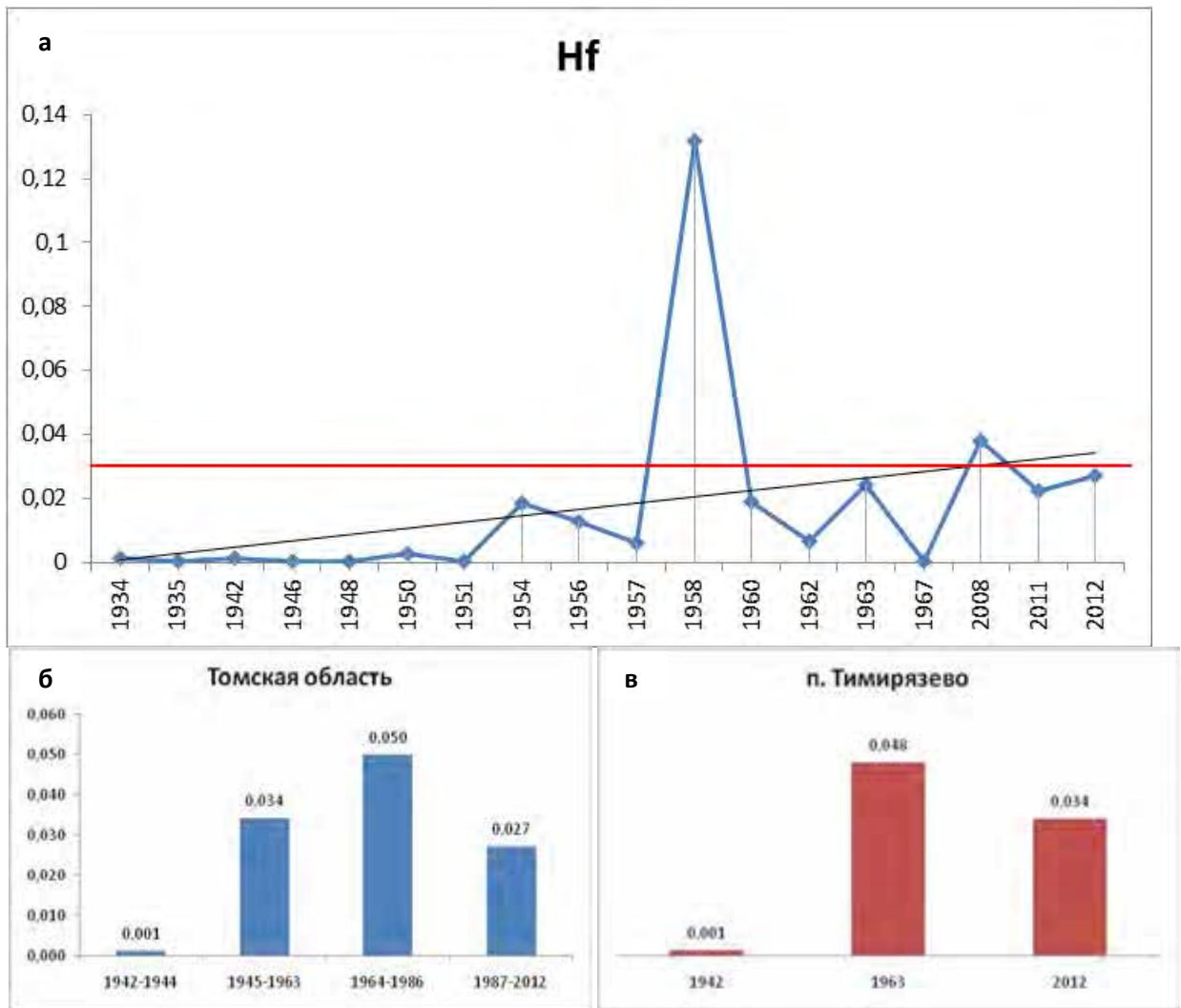


Рисунок Г.24 - Динамика содержания гафния в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

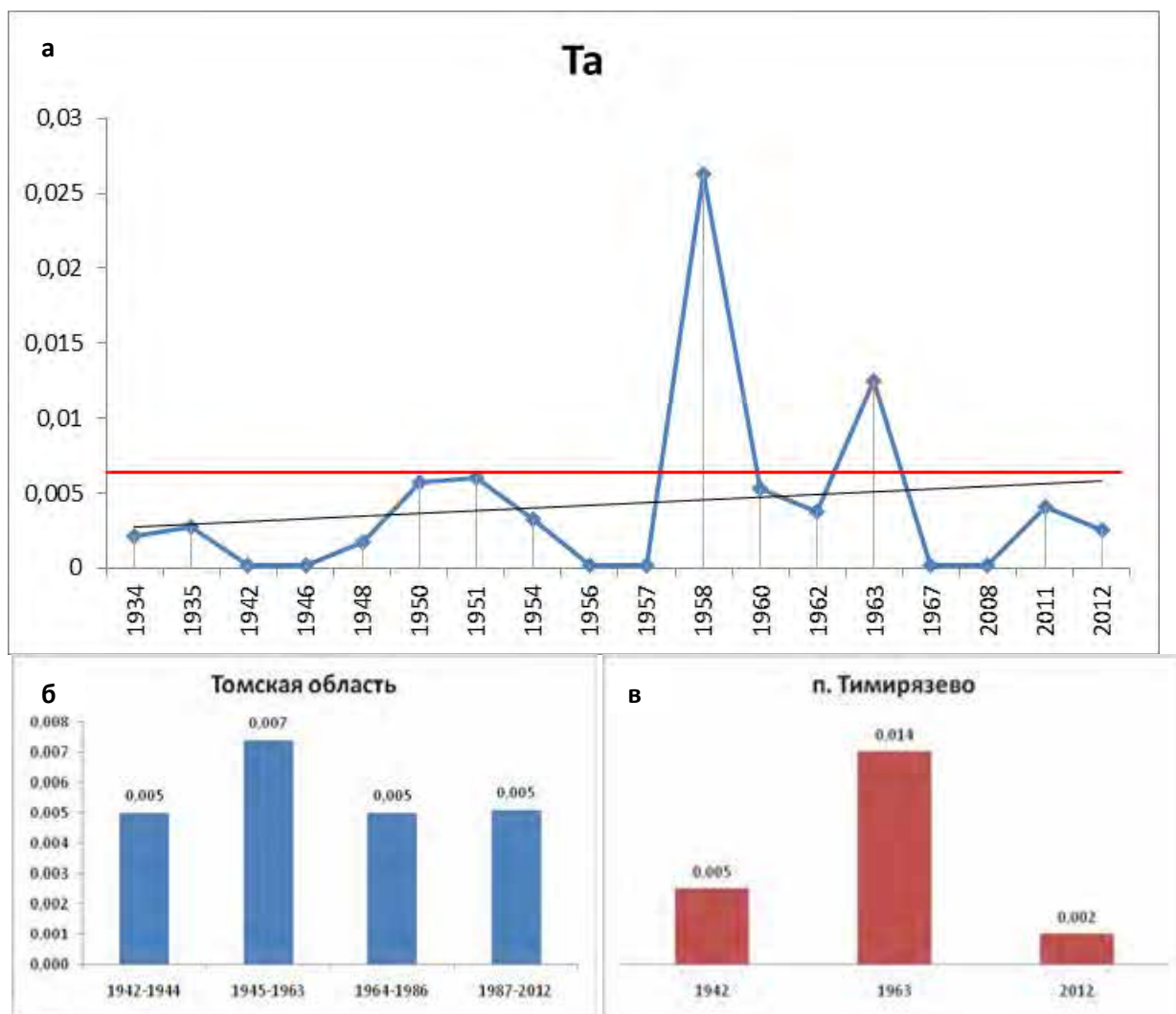


Рисунок Г.25 - Динамика содержания тантала в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

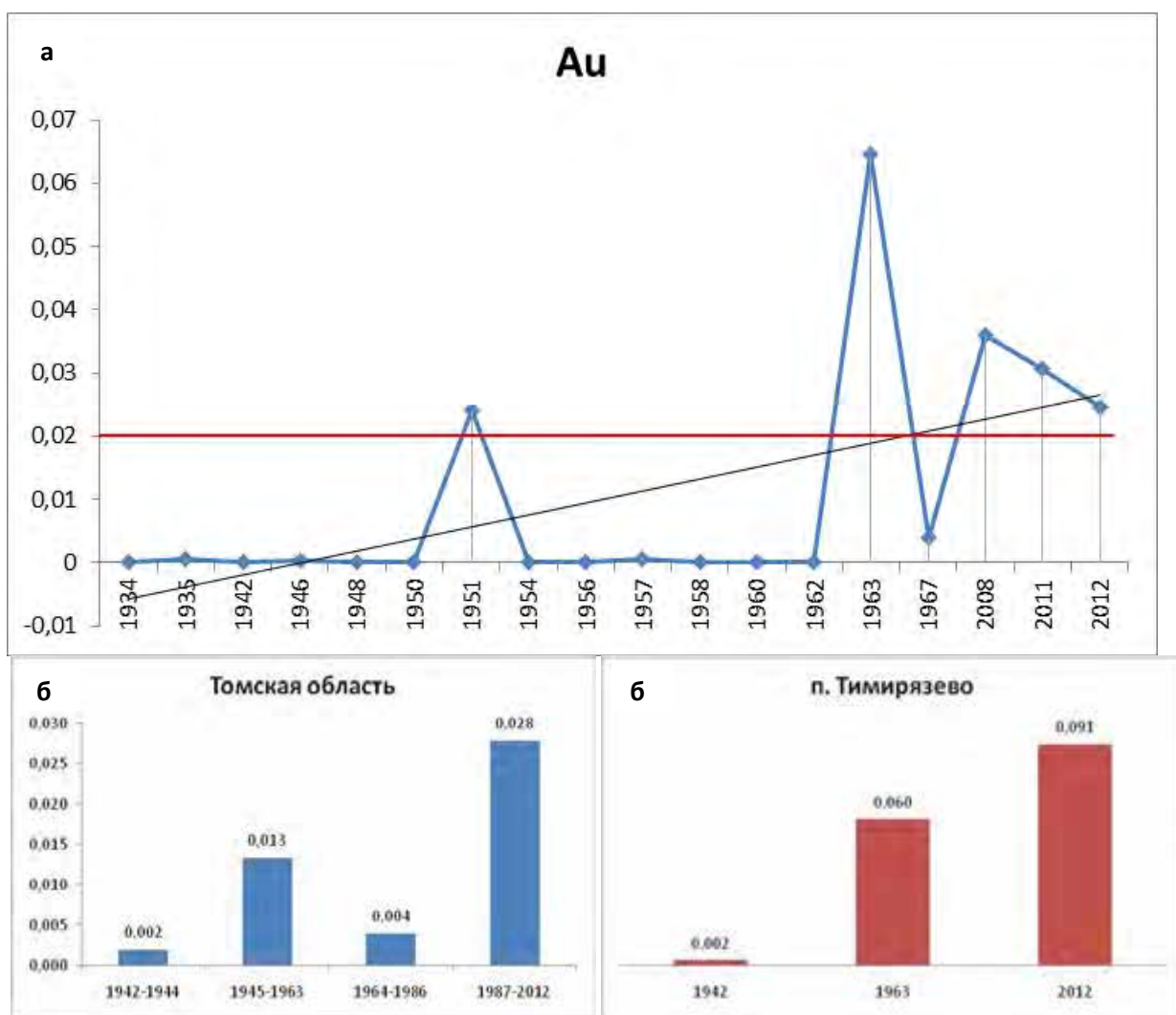


Рисунок Г.26 - Динамика содержания золота в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

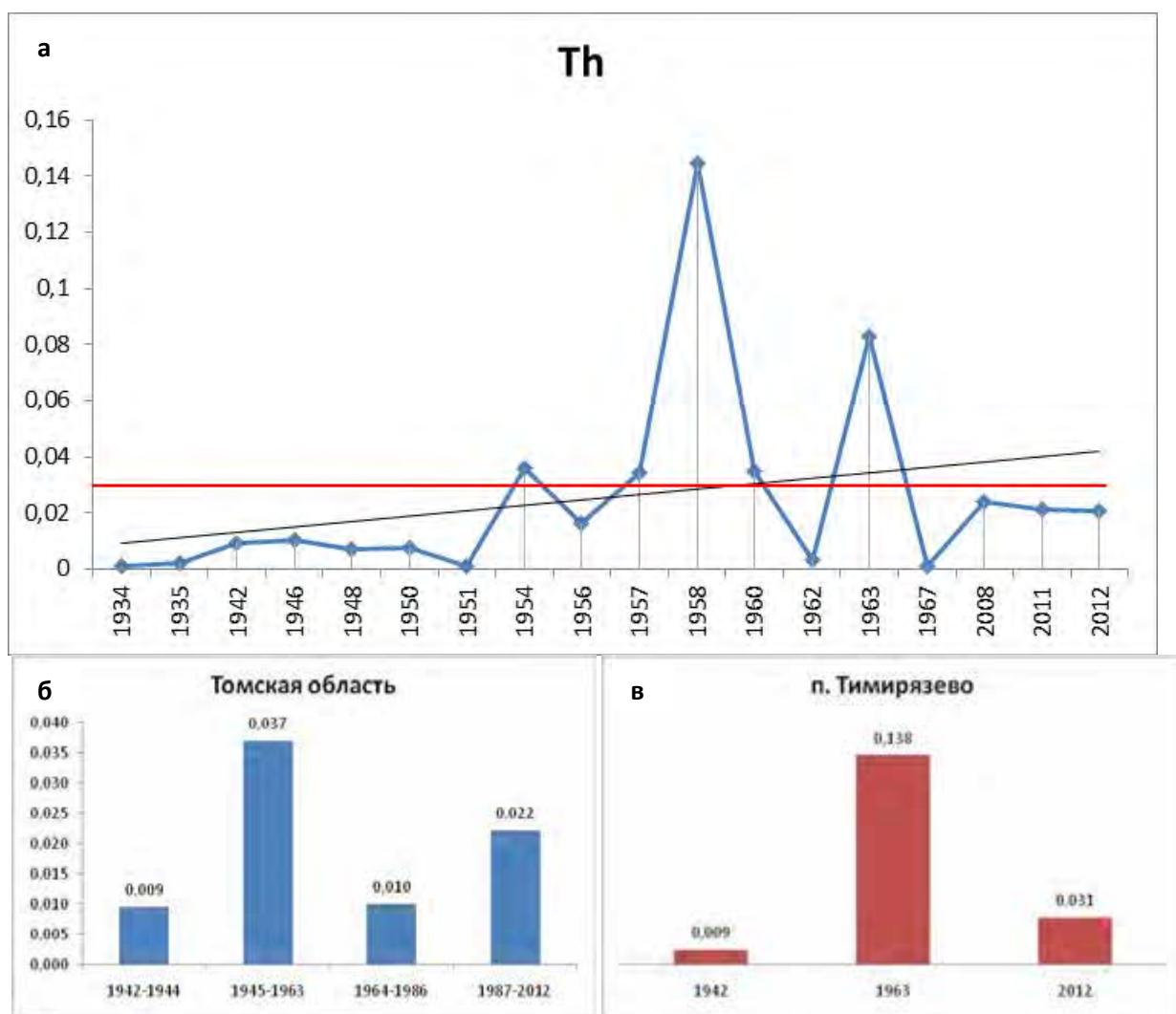


Рисунок Г.27 - Динамика содержания тория в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

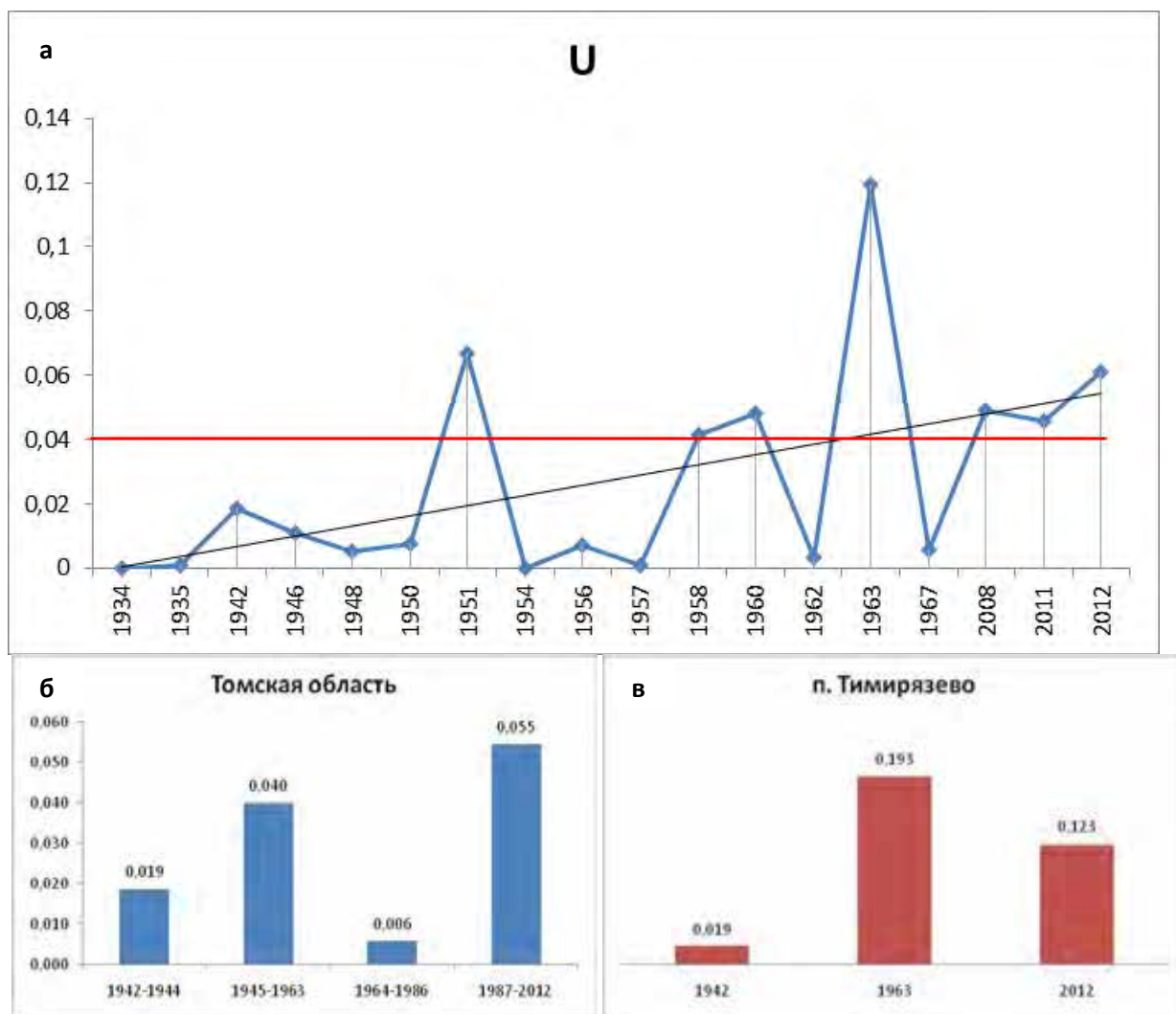


Рисунок Г.28 - Динамика содержания урана в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – п. Тимирязево (Томская область); — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

Приложение Д
(обязательное)

Динамика содержания химических элементов в лабазнике вязолистном
(*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim)

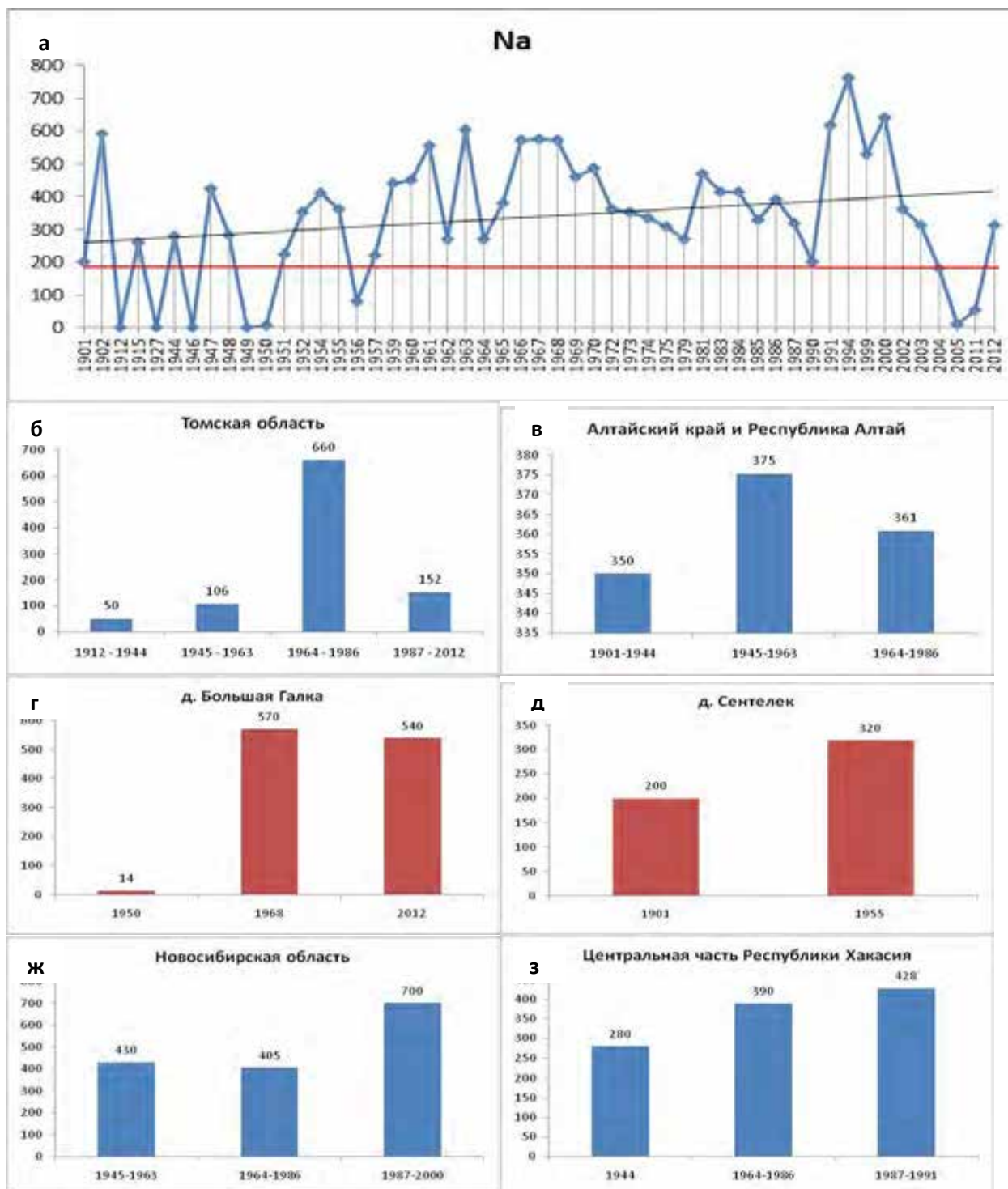


Рисунок Д.1 - Динамика содержания натрия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

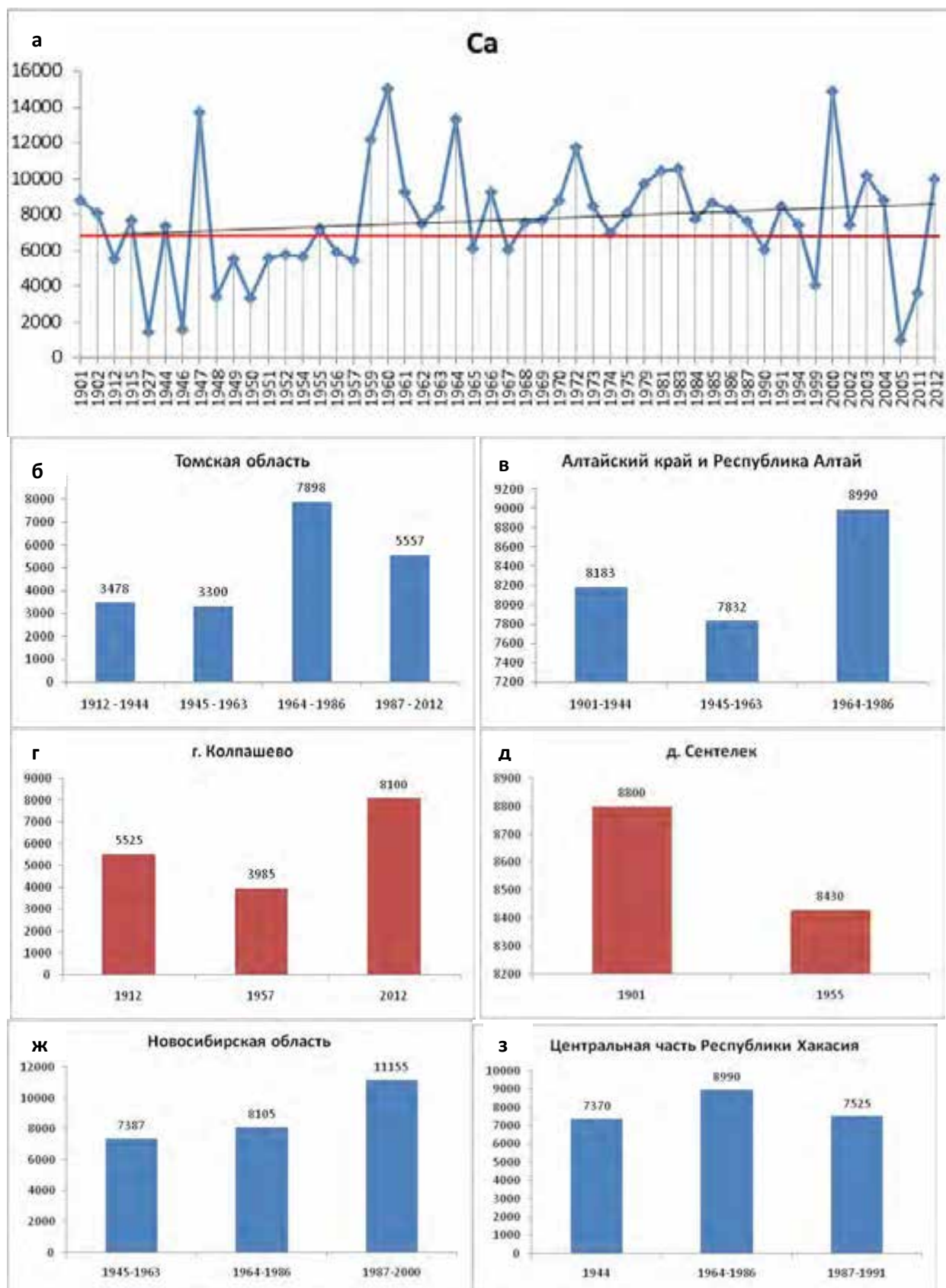


Рисунок Д.2 - Динамика содержания кальция в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maхim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

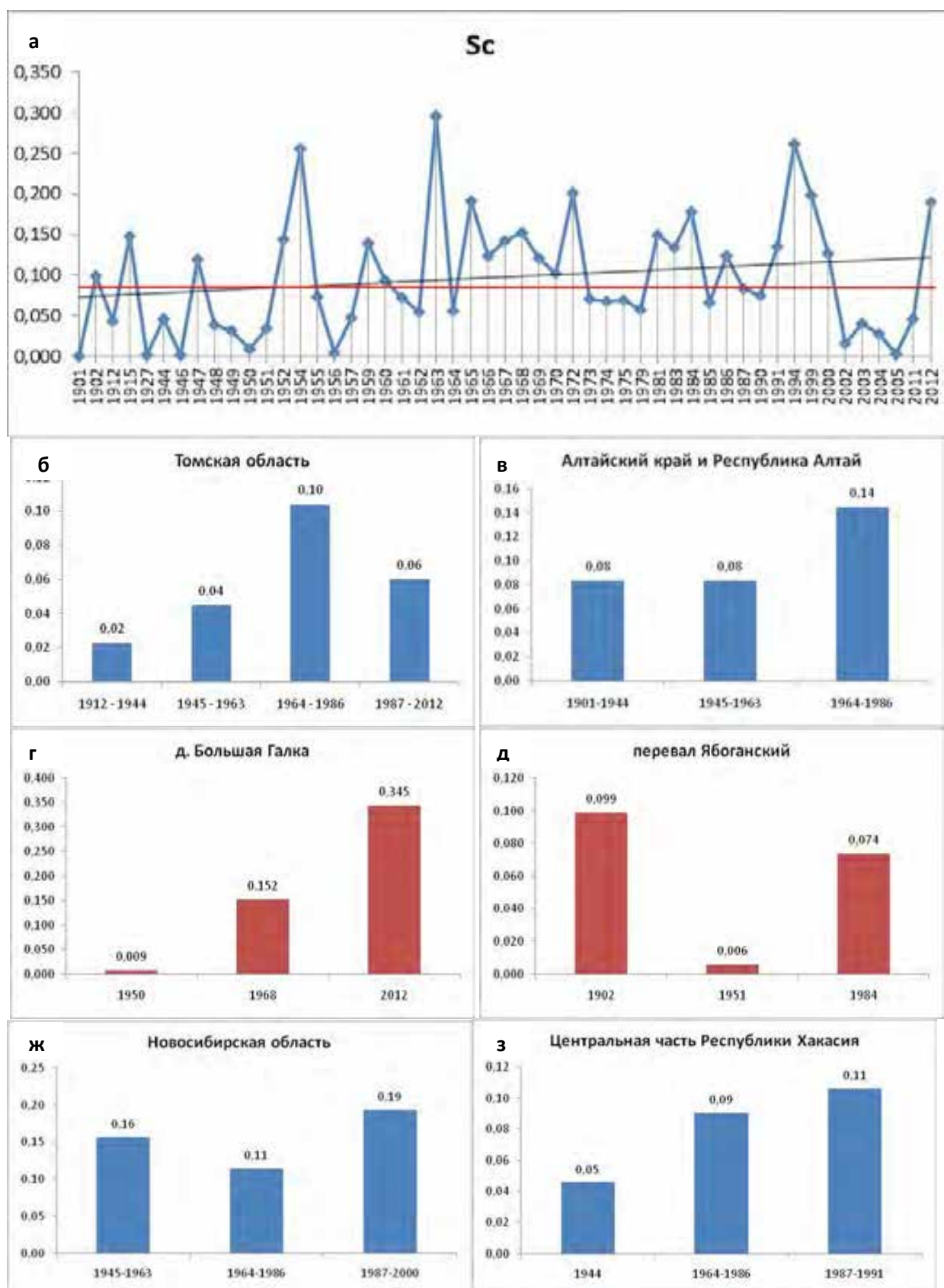


Рисунок Д.3 - Динамика содержания скандия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

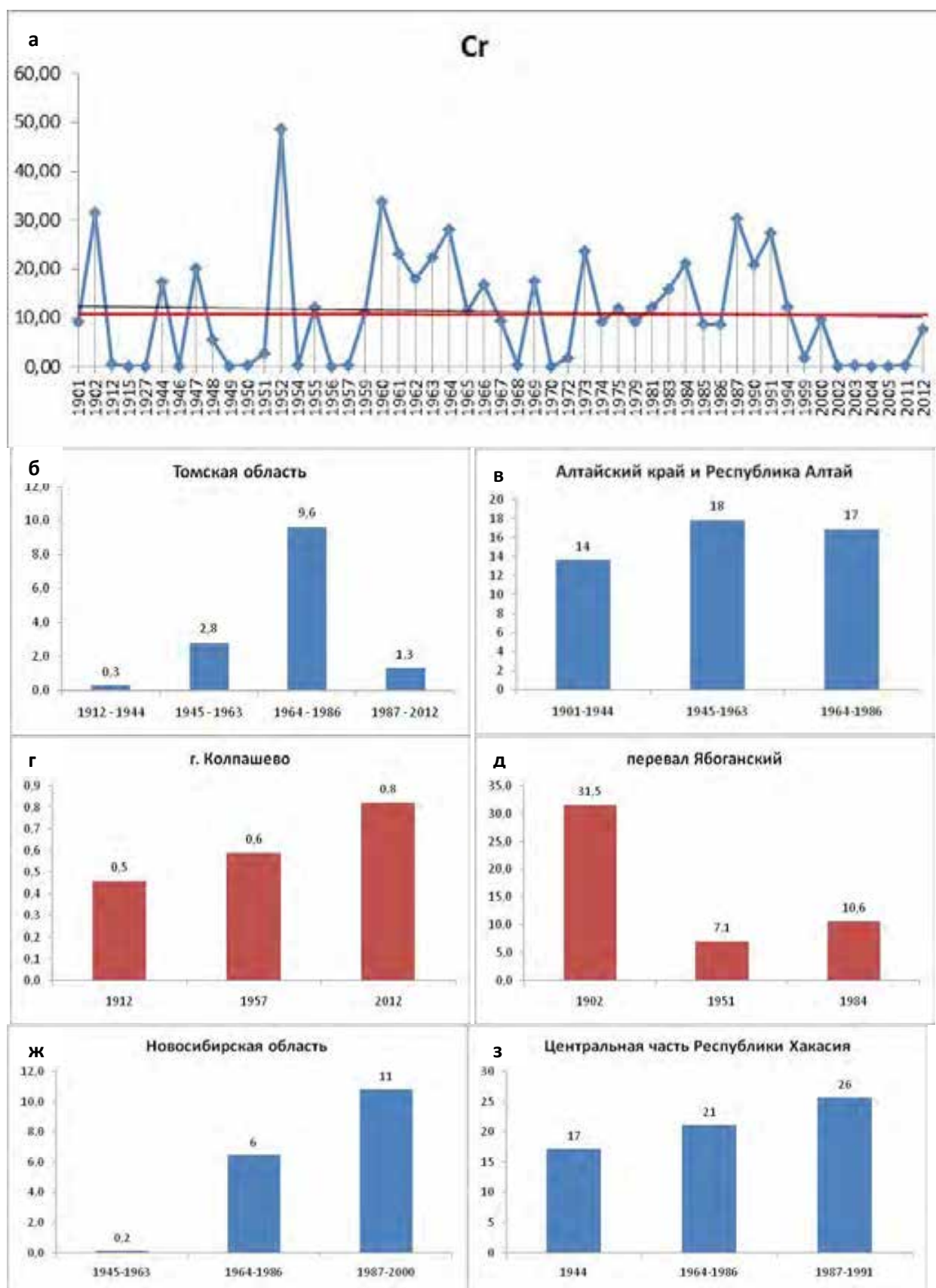


Рисунок Д.4 - Динамика содержания хрома в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

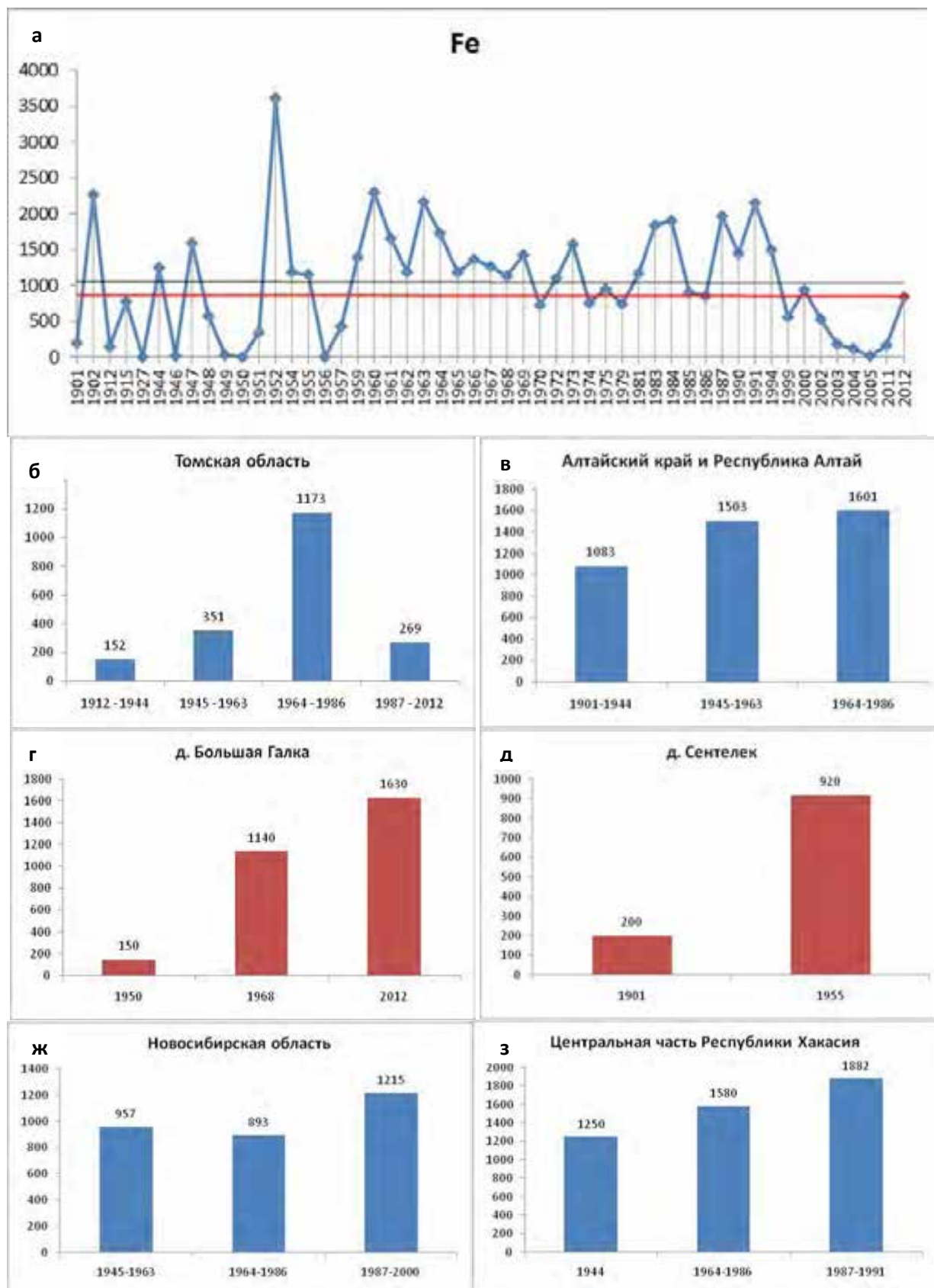


Рисунок Д.5 - Динамика содержания хрома в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

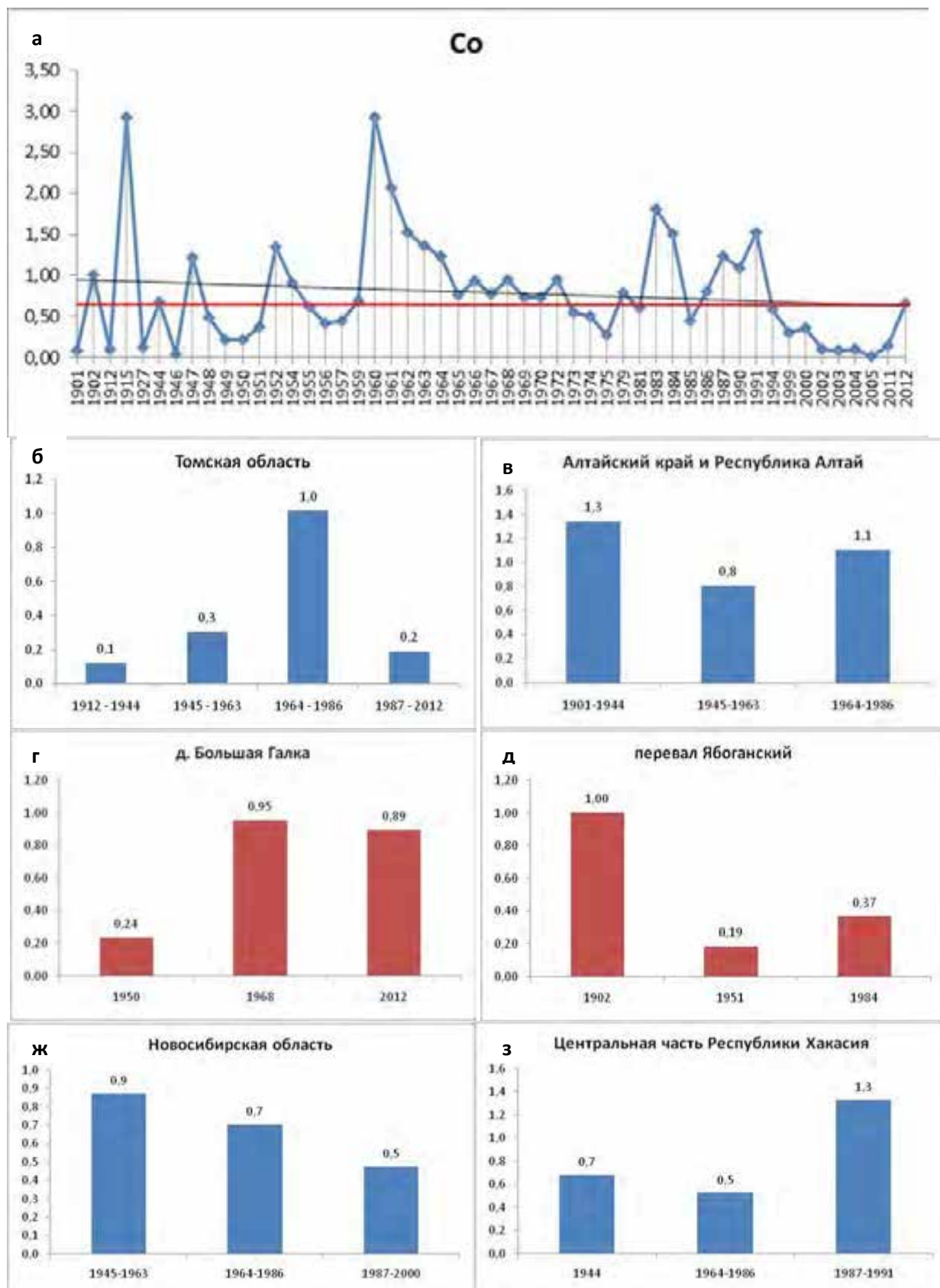


Рисунок Д.6 - Динамика содержания кобальта в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maхim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

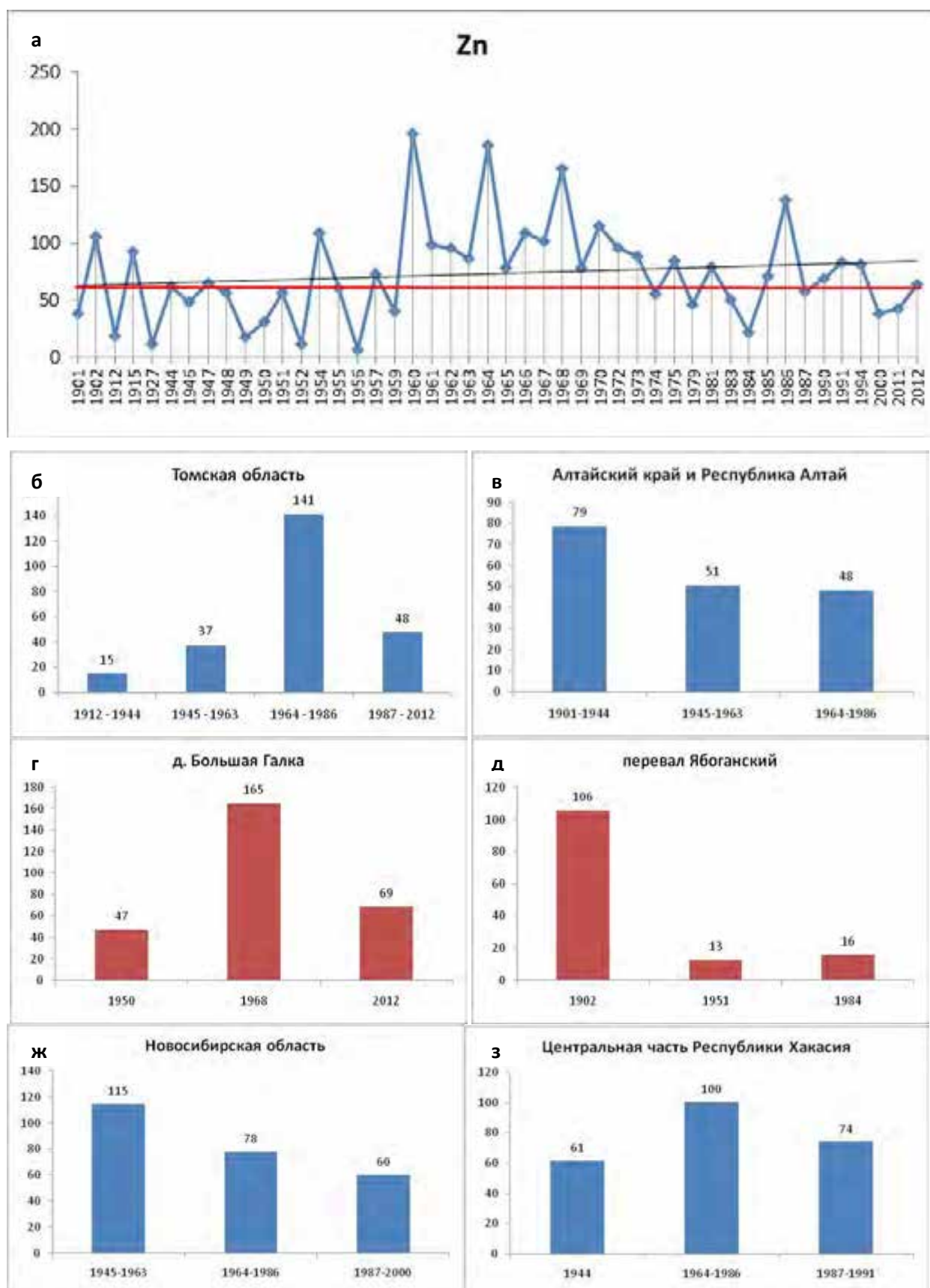


Рисунок Д.7 - Динамика содержания цинка в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maхim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

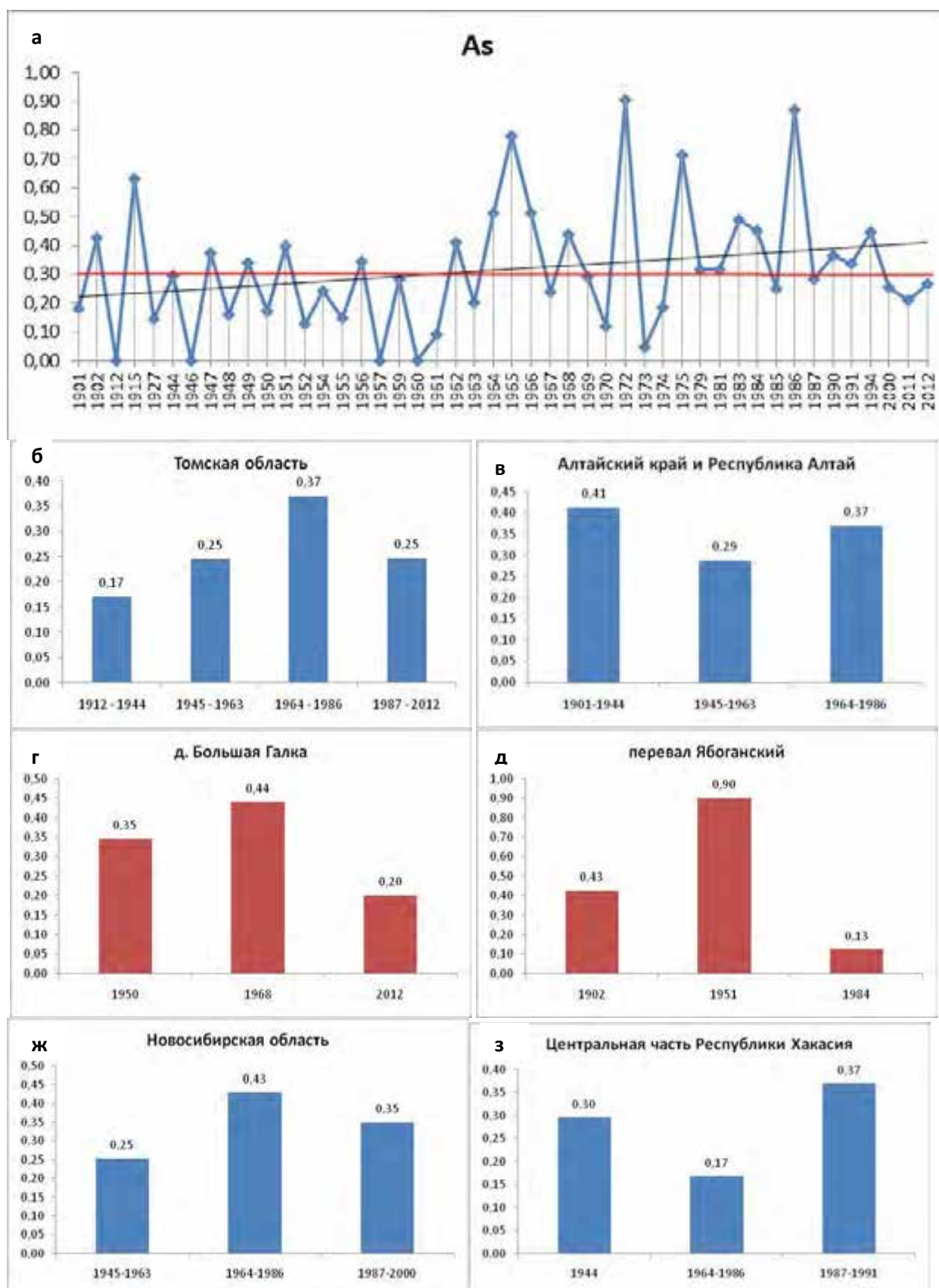


Рисунок Д.8 - Динамика содержания мышьяка в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в - Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

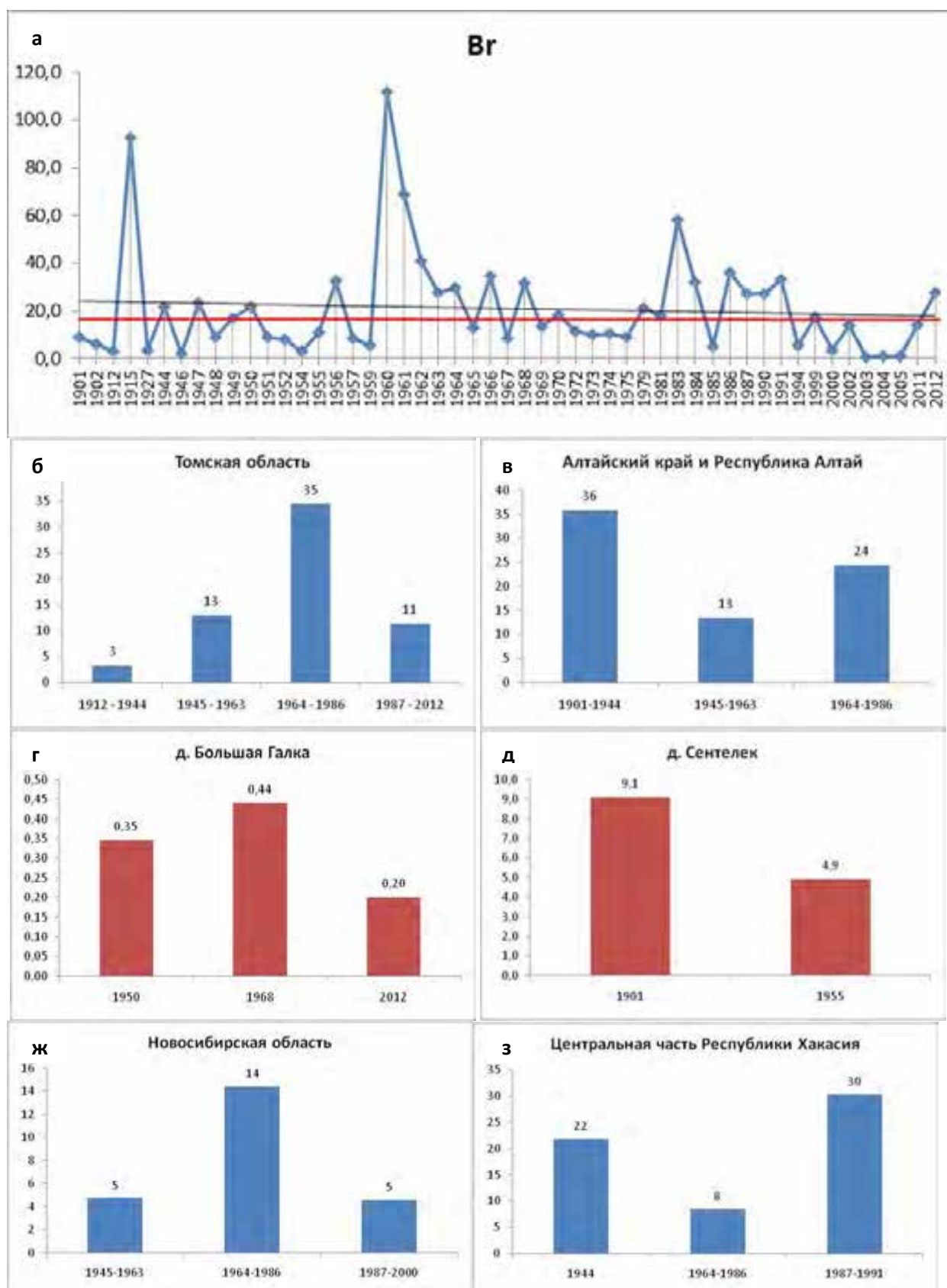


Рисунок Д.9 - Динамика содержания цинка в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

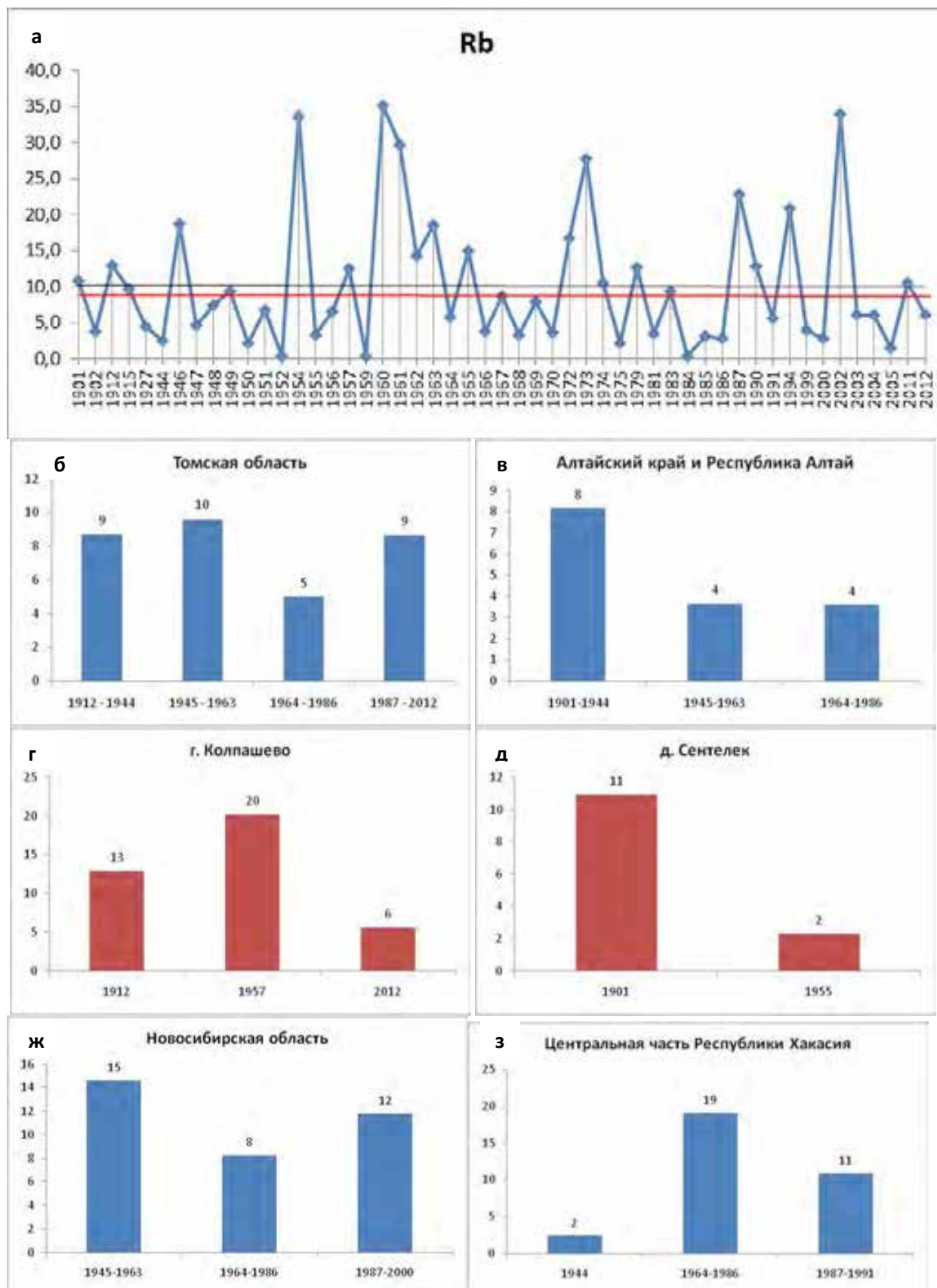


Рисунок Д.10 - Динамика содержания рубидия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L.) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

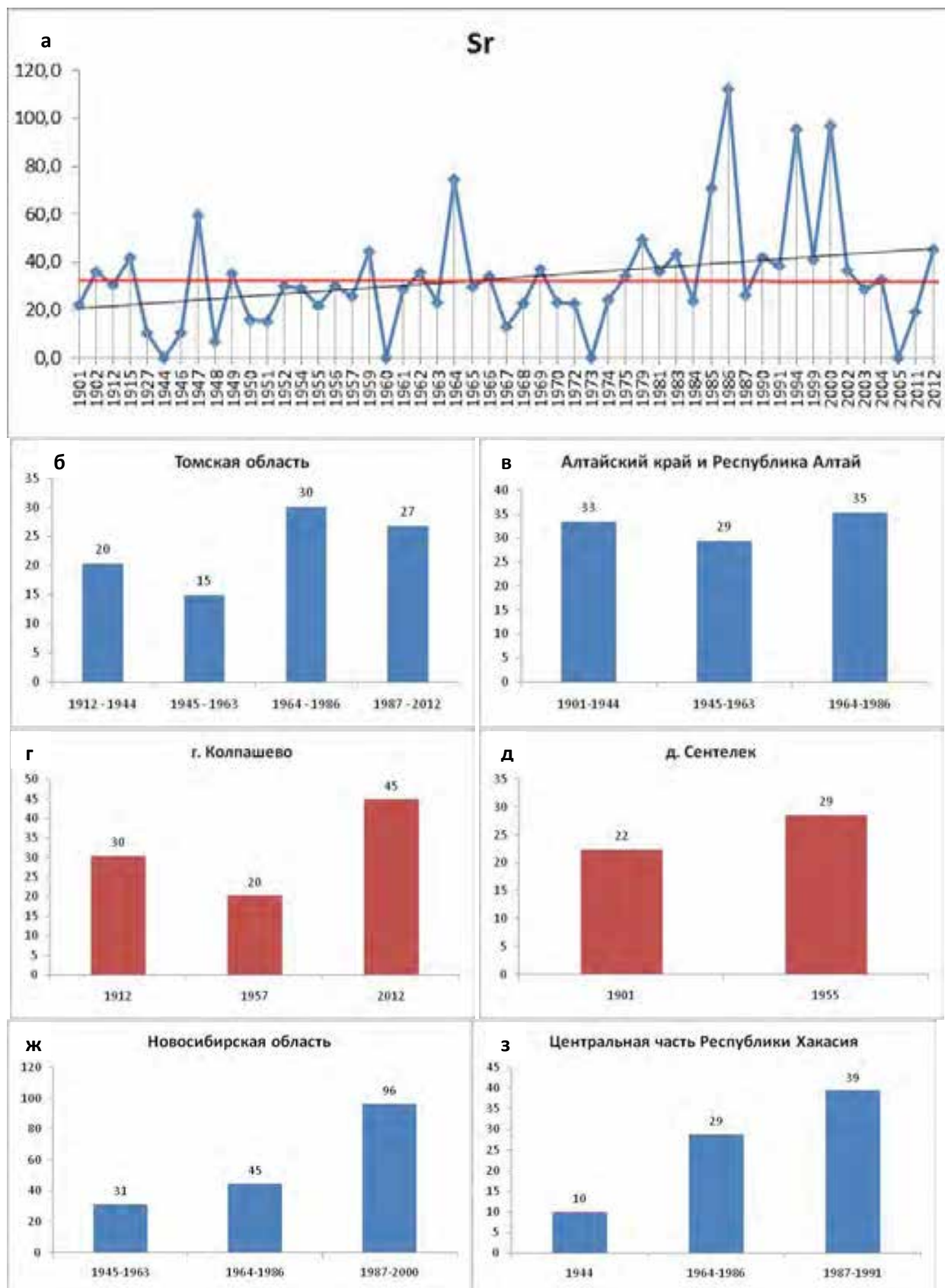


Рисунок Д.11 - Динамика содержания стронция в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — — — — — среднее содержание элемента; — — — — — тенденция (тренд) содержания элемента во времени

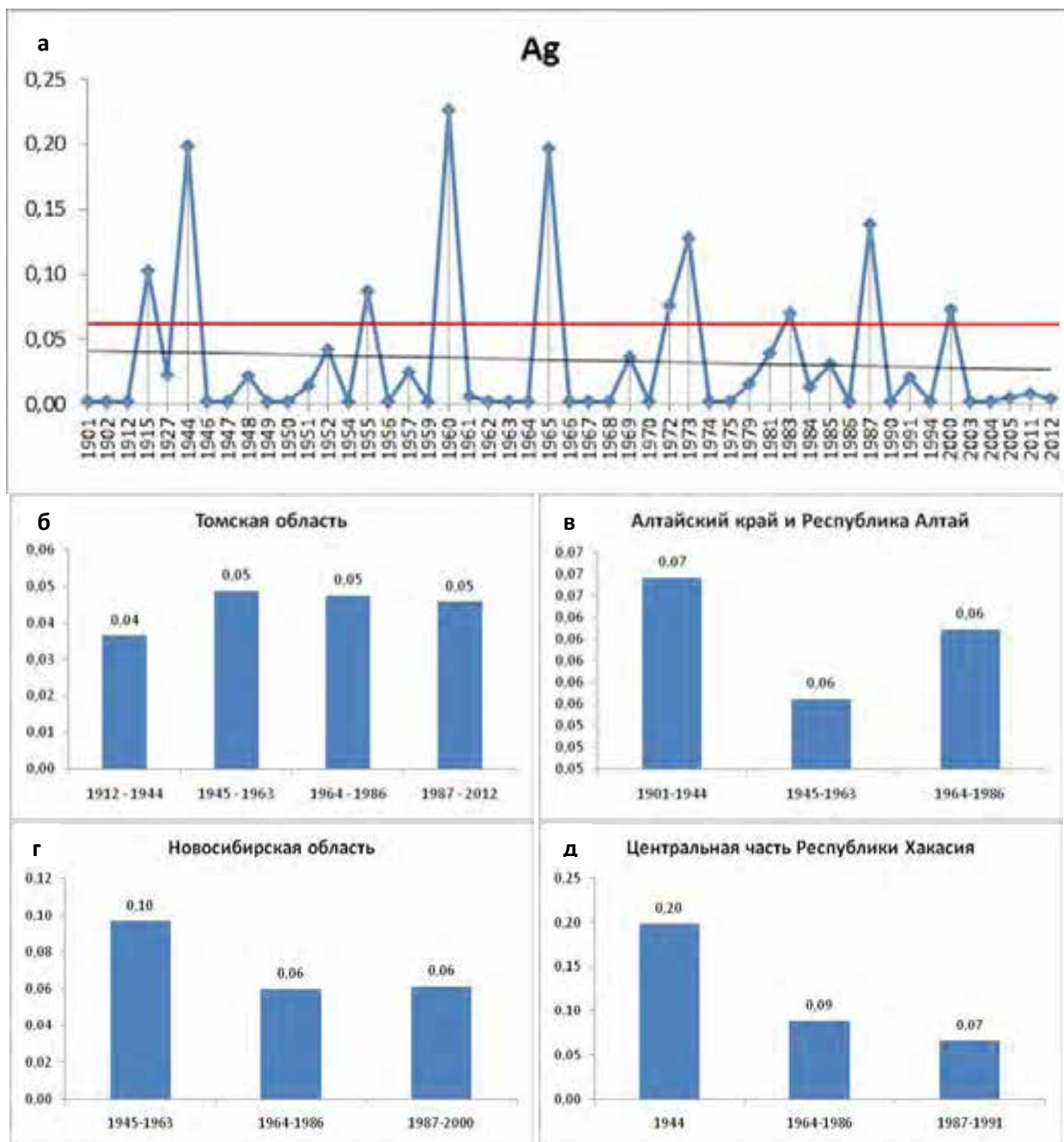


Рисунок Д.12 - Динамика содержания серебра в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – Новосибирская область; д – центральная часть Республики Хакасия; — среднее содержание элемента; — тенденция (тренд) содержания элемента во времени

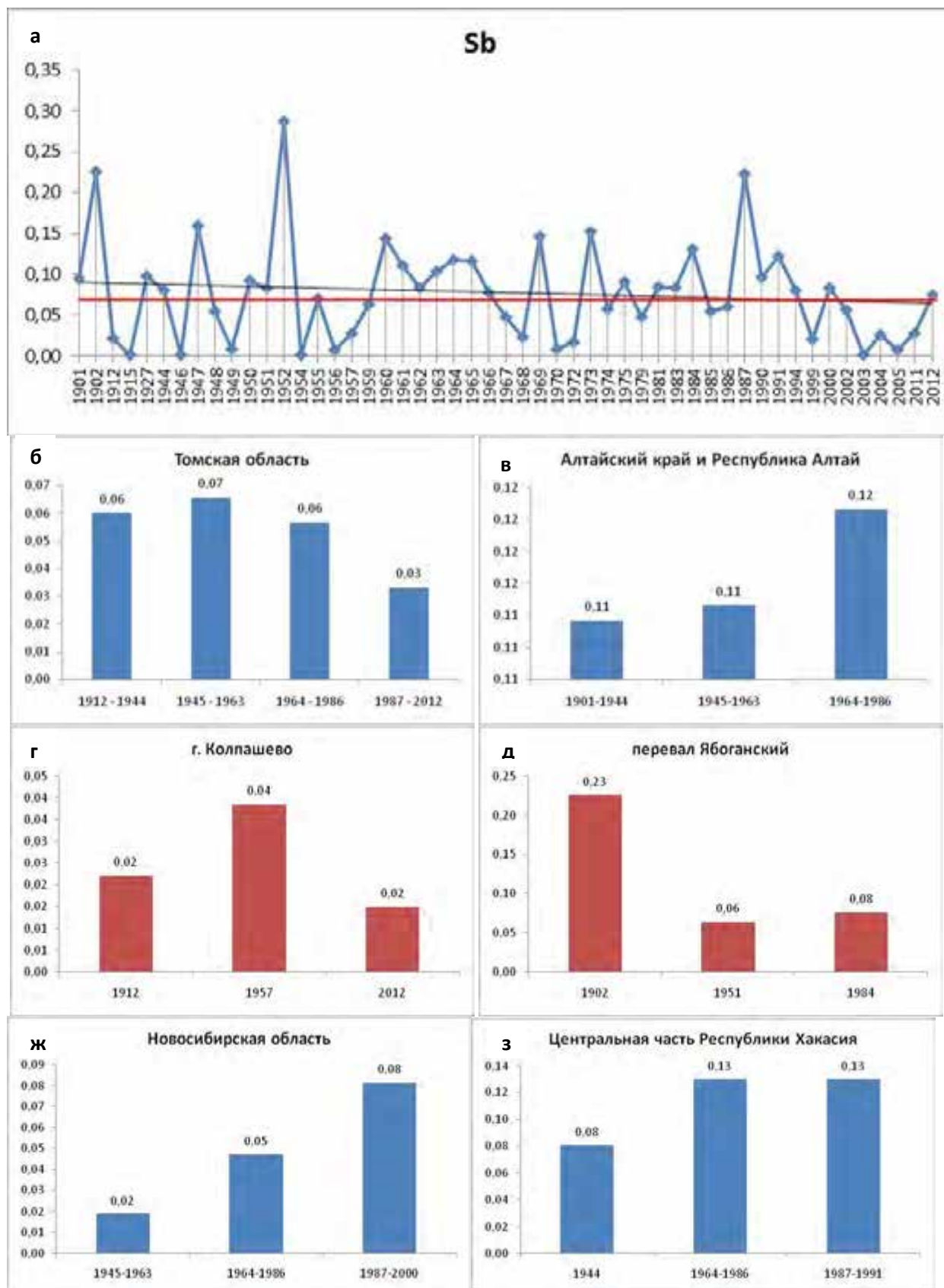


Рисунок Д.13 - Динамика содержания сурьмы в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

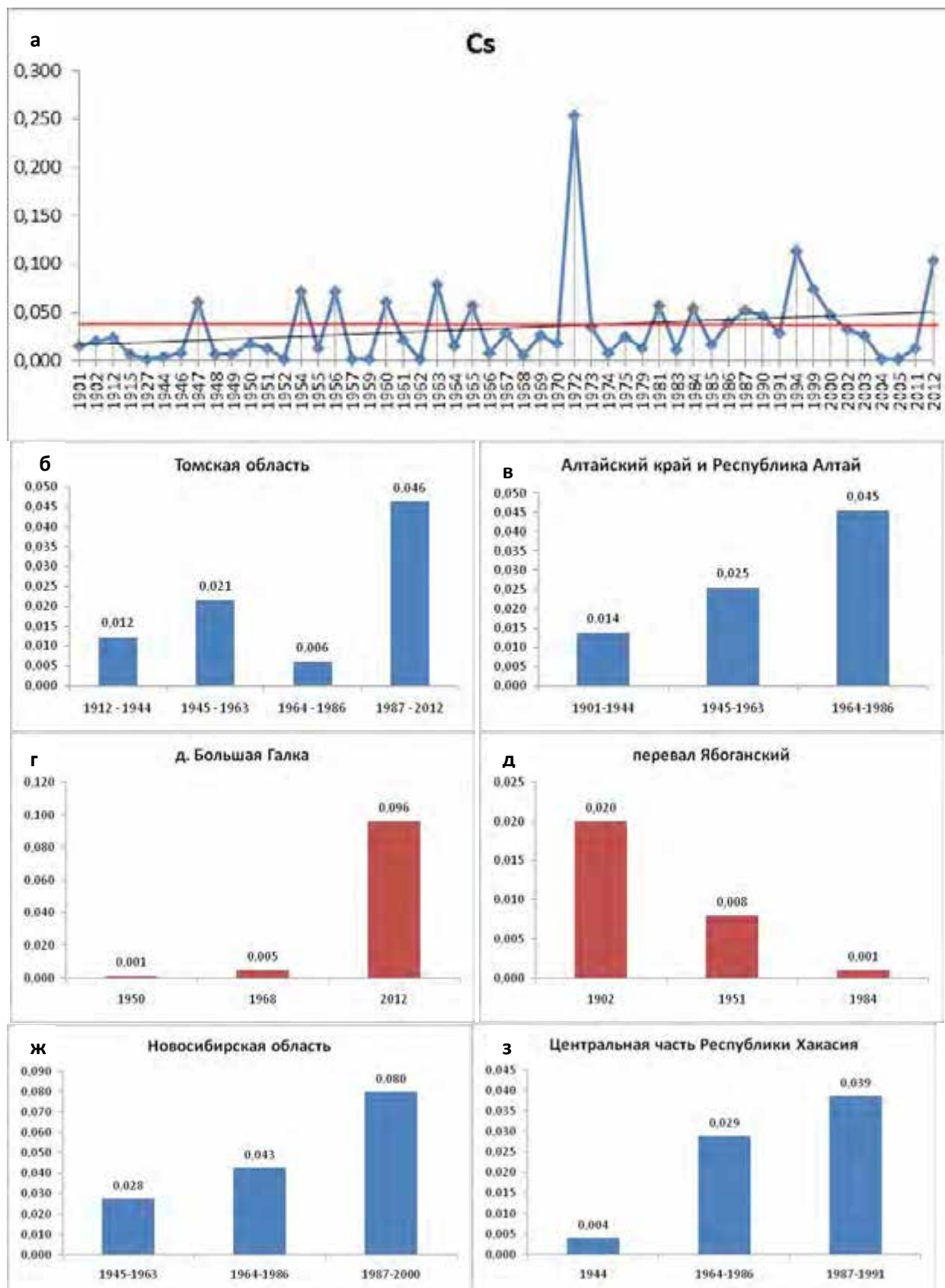


Рисунок Д.14 - Динамика содержания цезия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

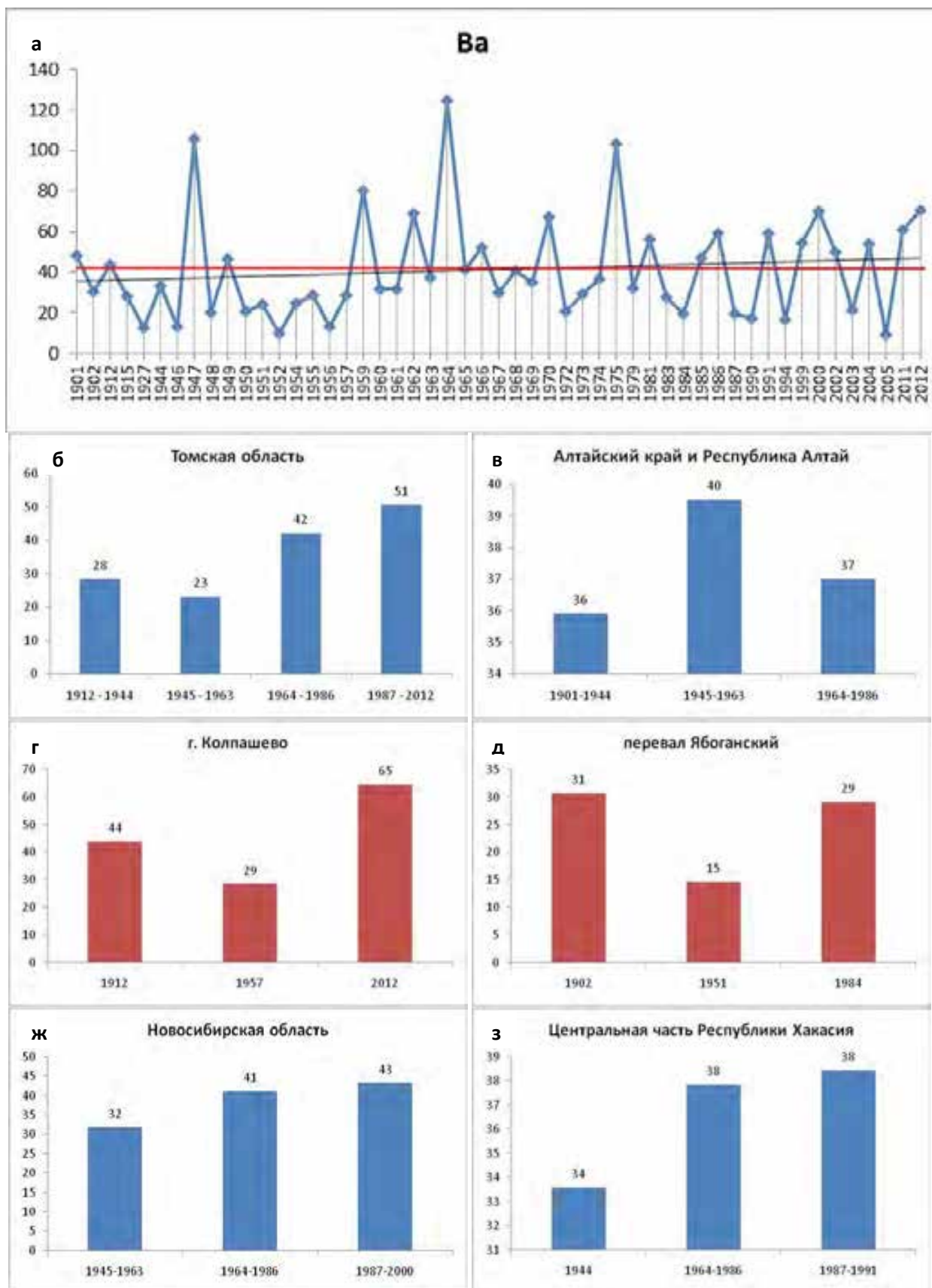


Рисунок Д.15 - Динамика содержания бария в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

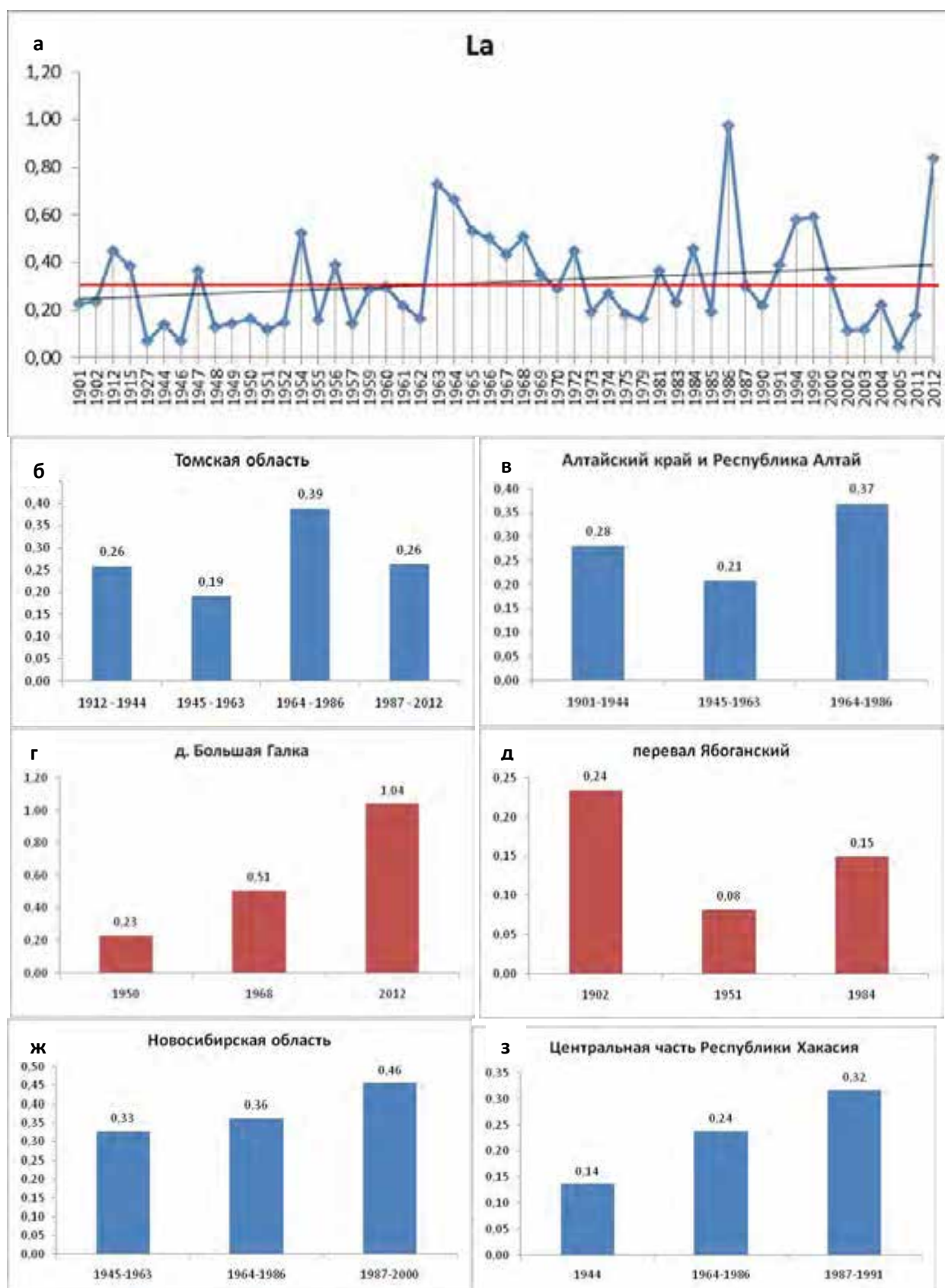


Рисунок Д.16 - Динамика содержания лантана в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

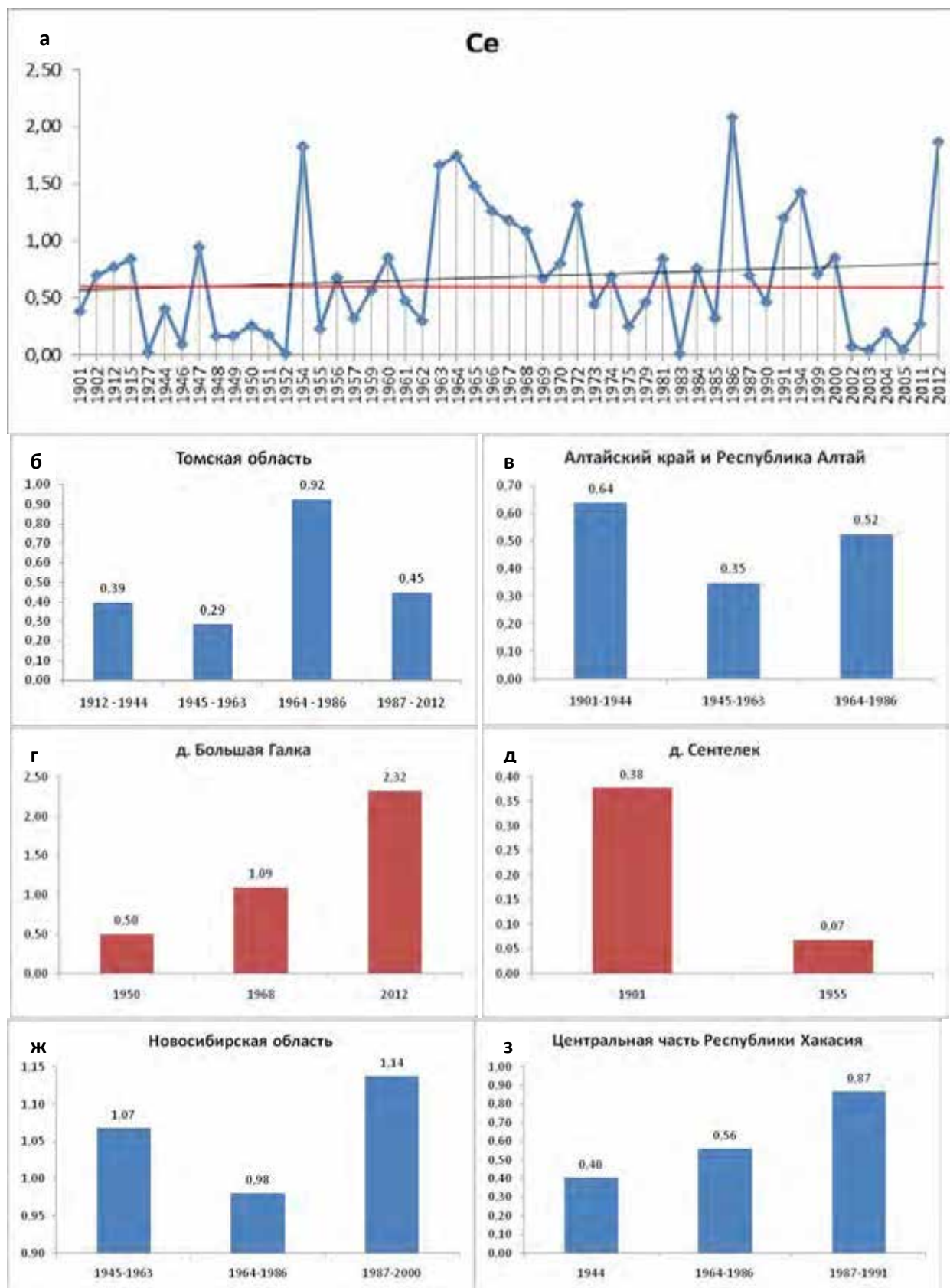


Рисунок Д.17 - Динамика содержания церия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L.) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

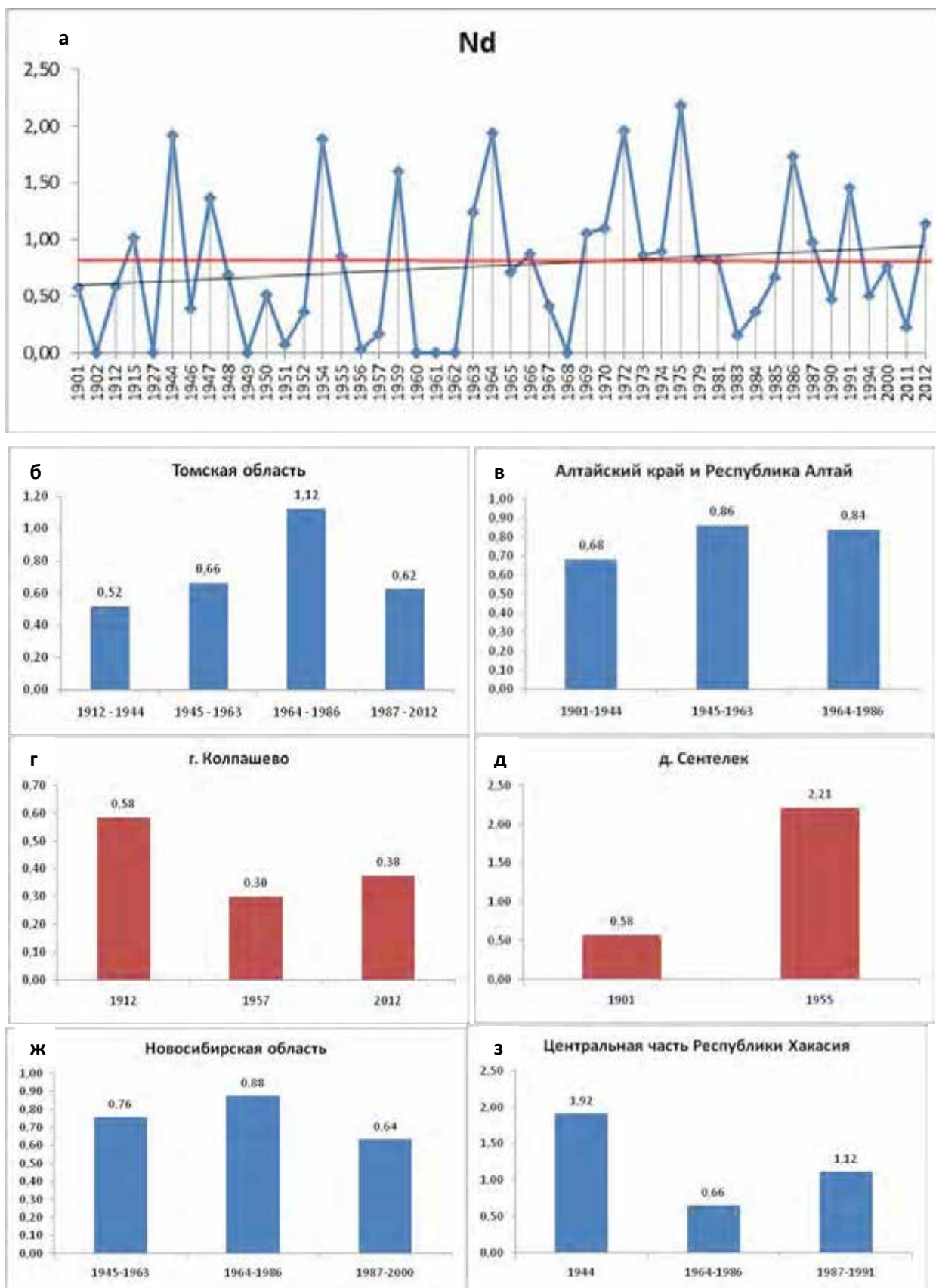


Рисунок Д.18 - Динамика содержания неодима в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maхim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — — — — — - среднее содержание элемента; — — — — — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

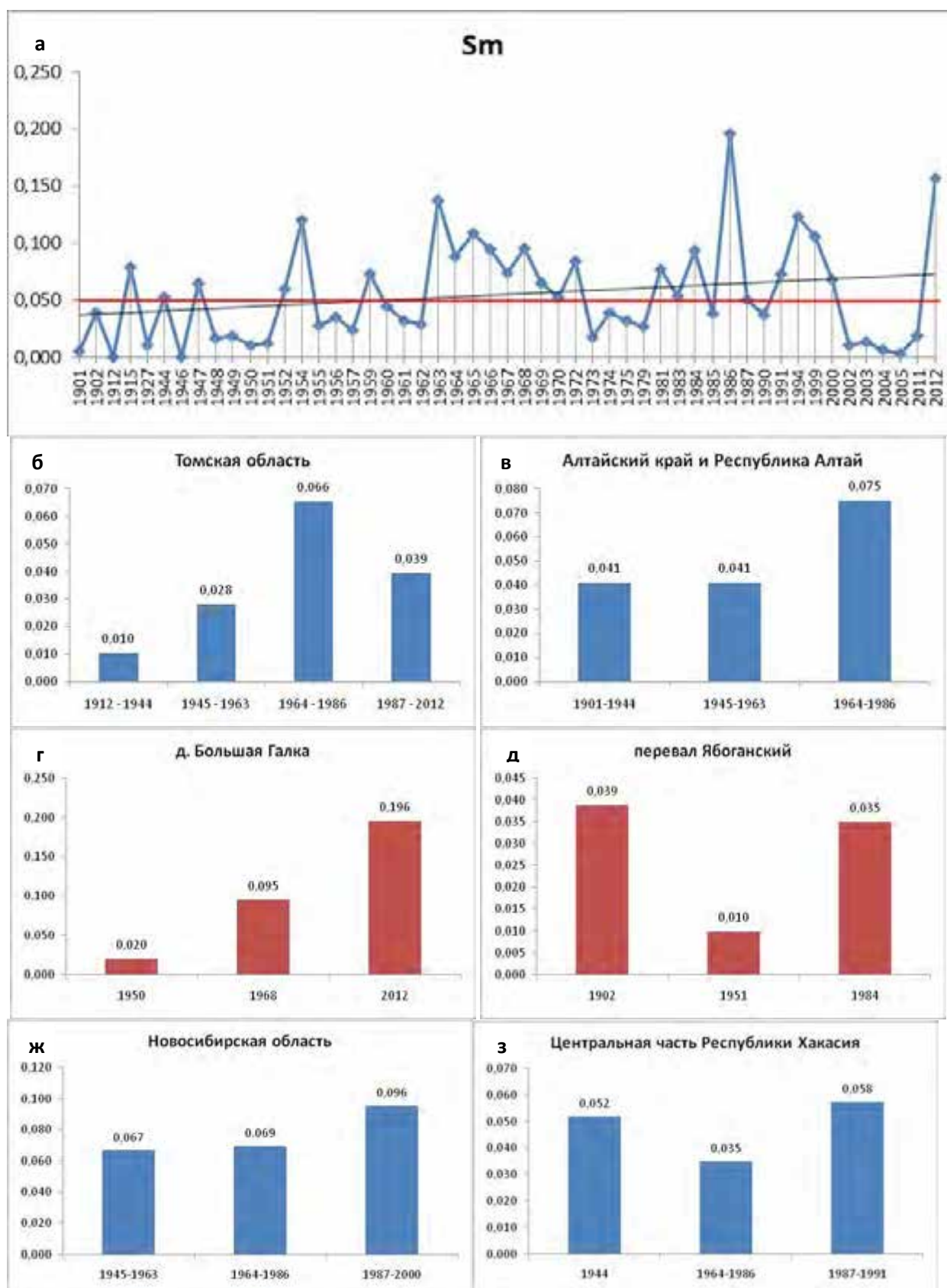


Рисунок Д.19 - Динамика содержания самария в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

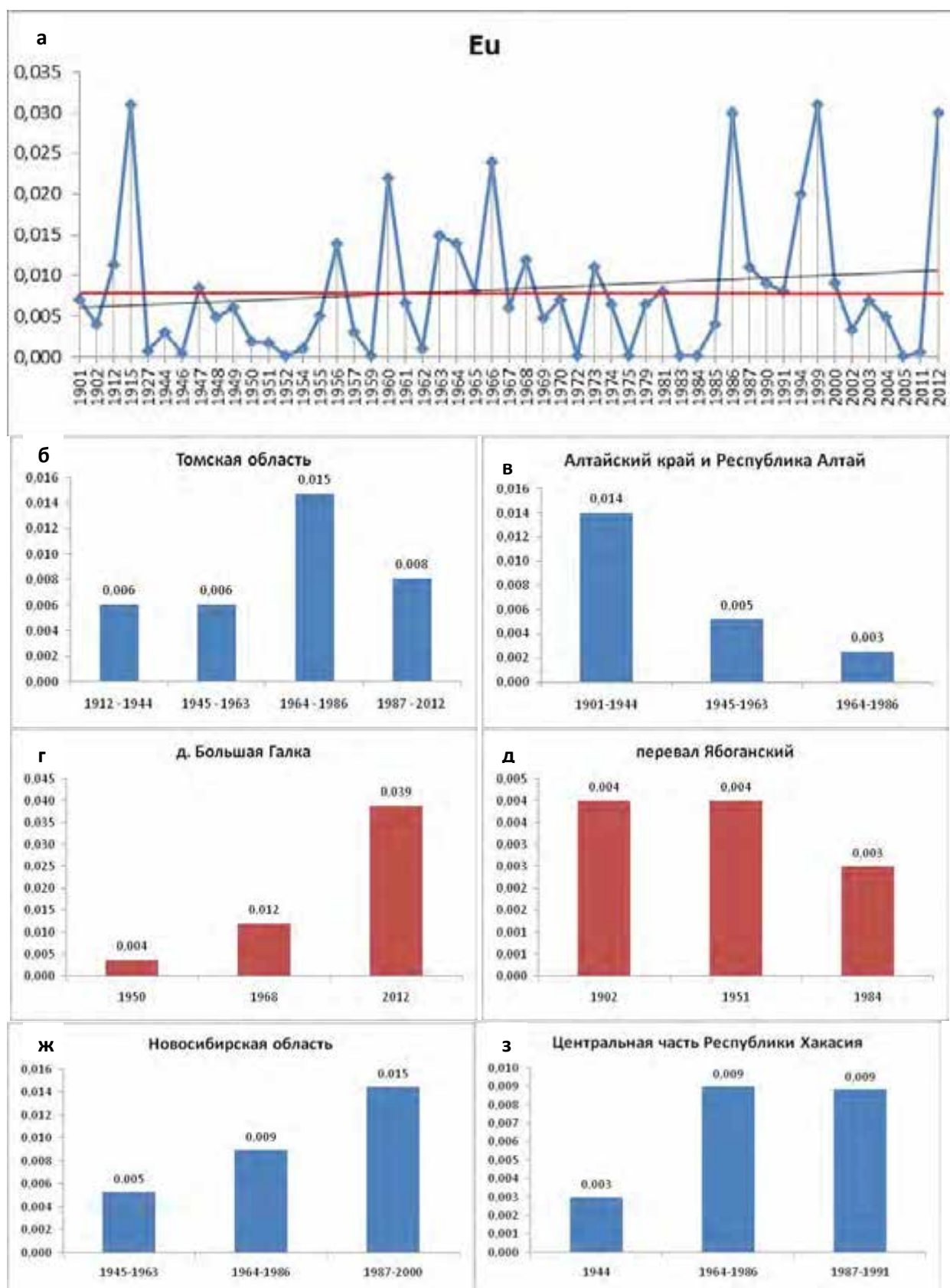


Рисунок Д.20 - Динамика содержания европия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

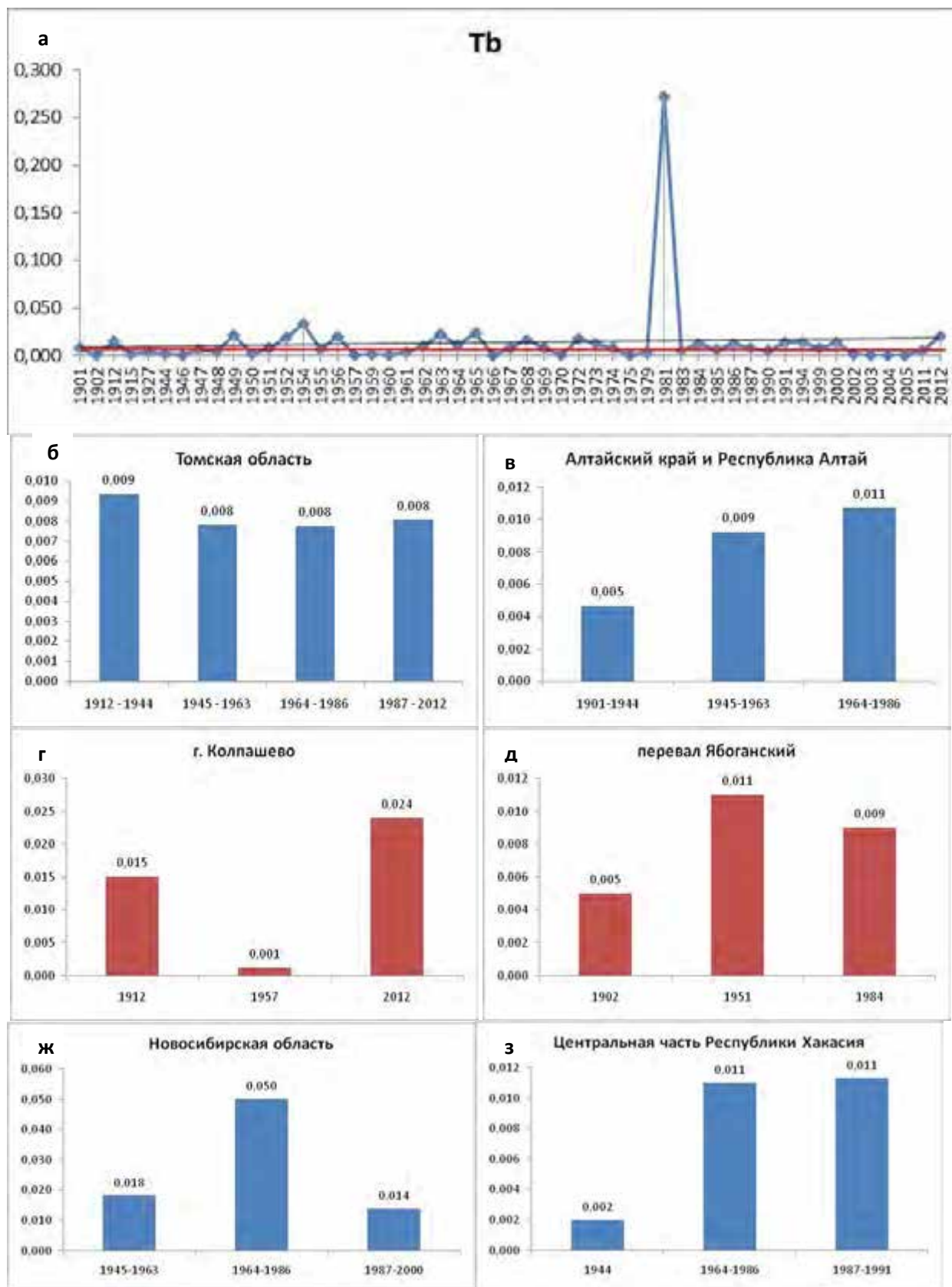


Рисунок Д.21 - Динамика содержания тербия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

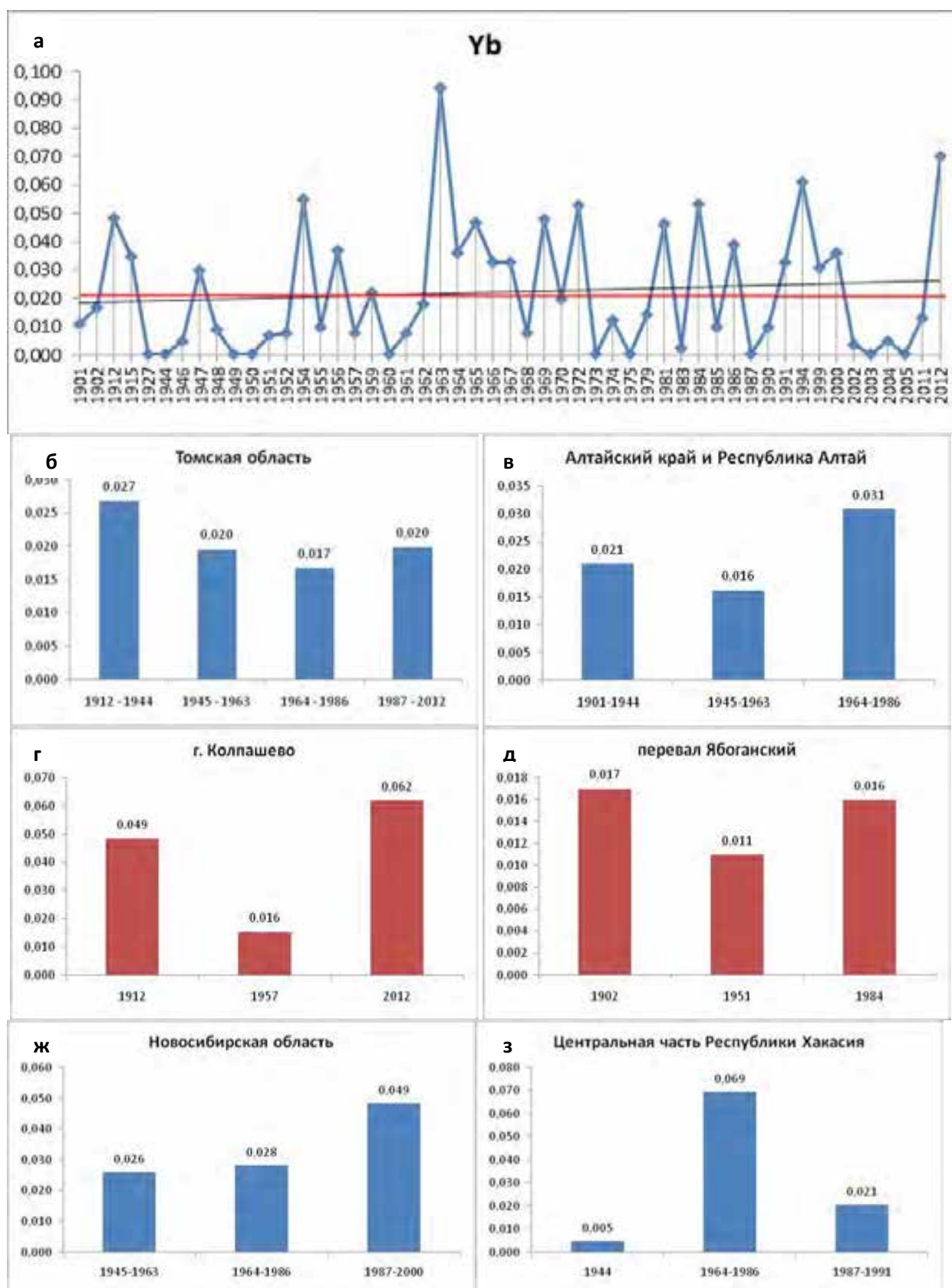


Рисунок Д.22 - Динамика содержания иттербия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – г. Колпашево (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

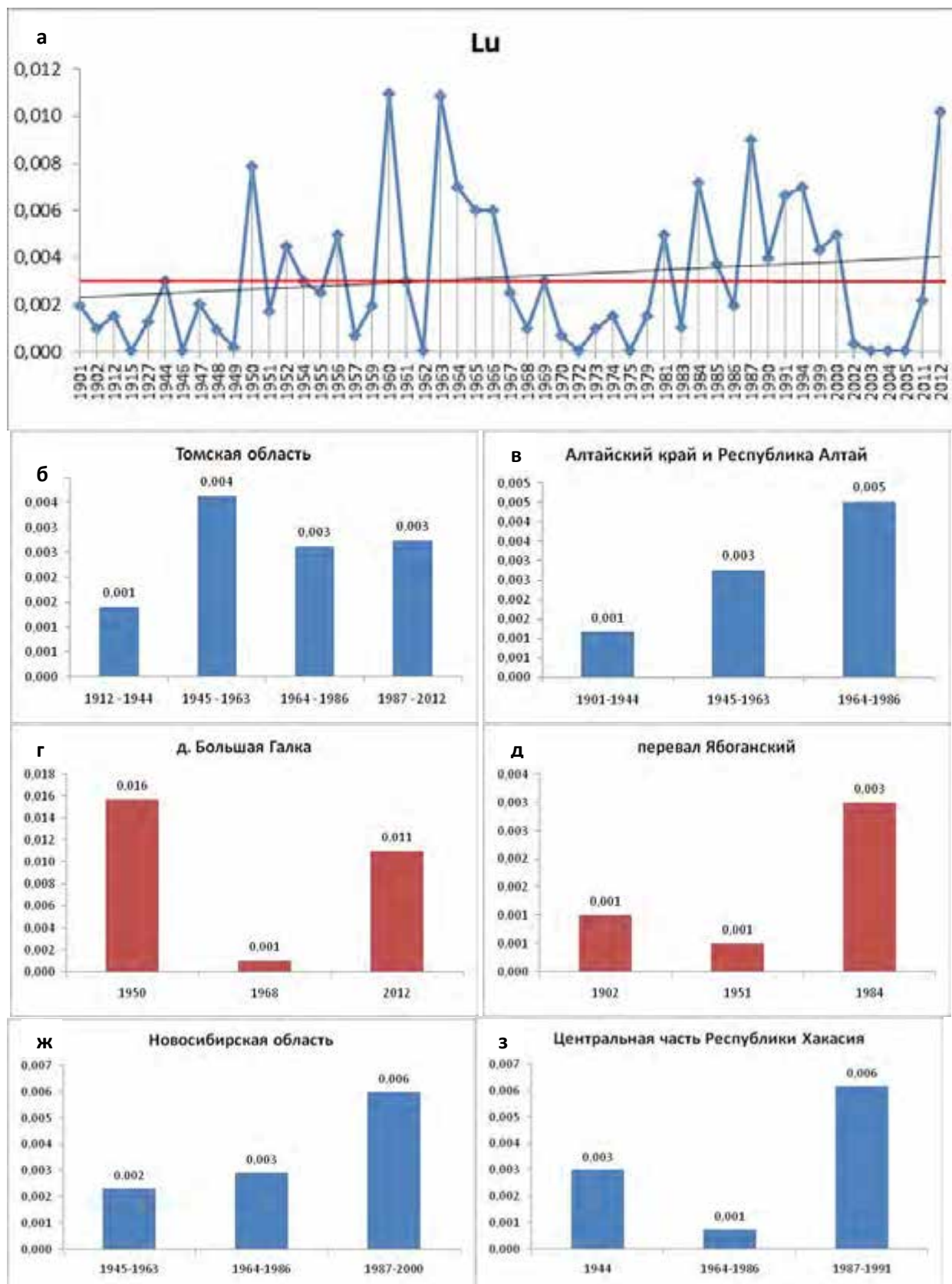


Рисунок Д.23 - Динамика содержания лутетия в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

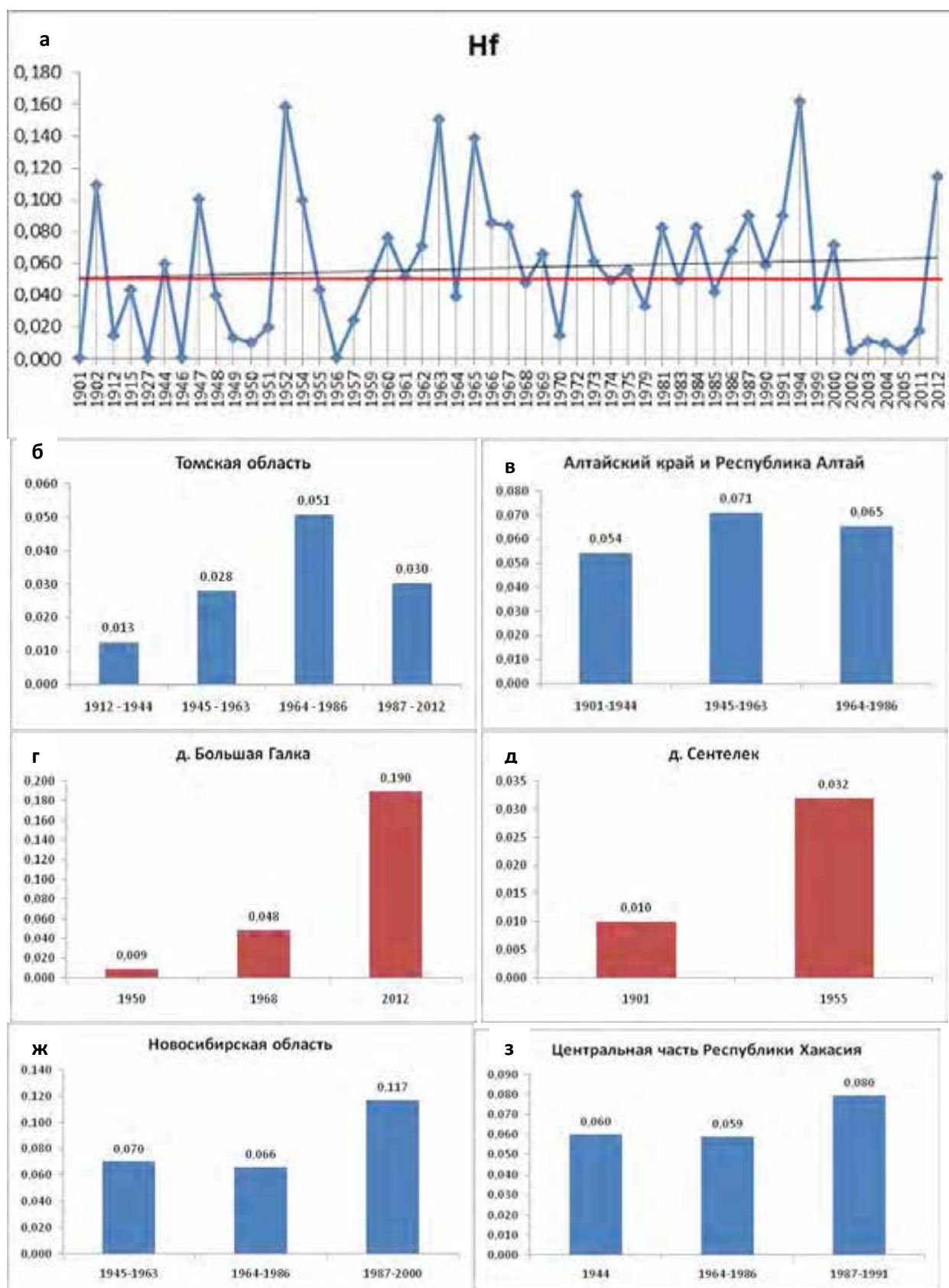


Рисунок Д.24 - Динамика содержания гафния в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

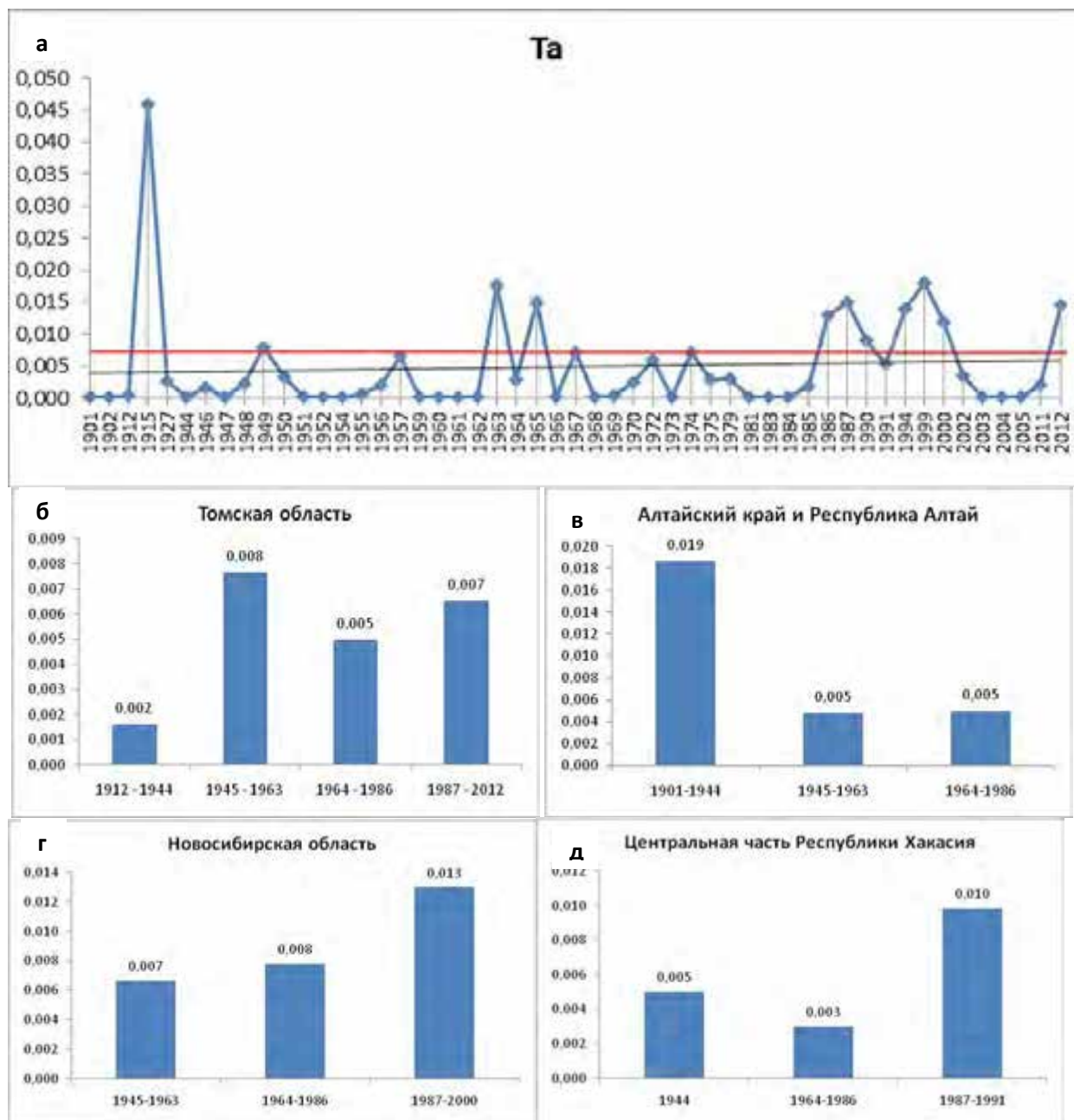


Рисунок Д.25 - Динамика содержания тантала в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – Новосибирская область; д – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

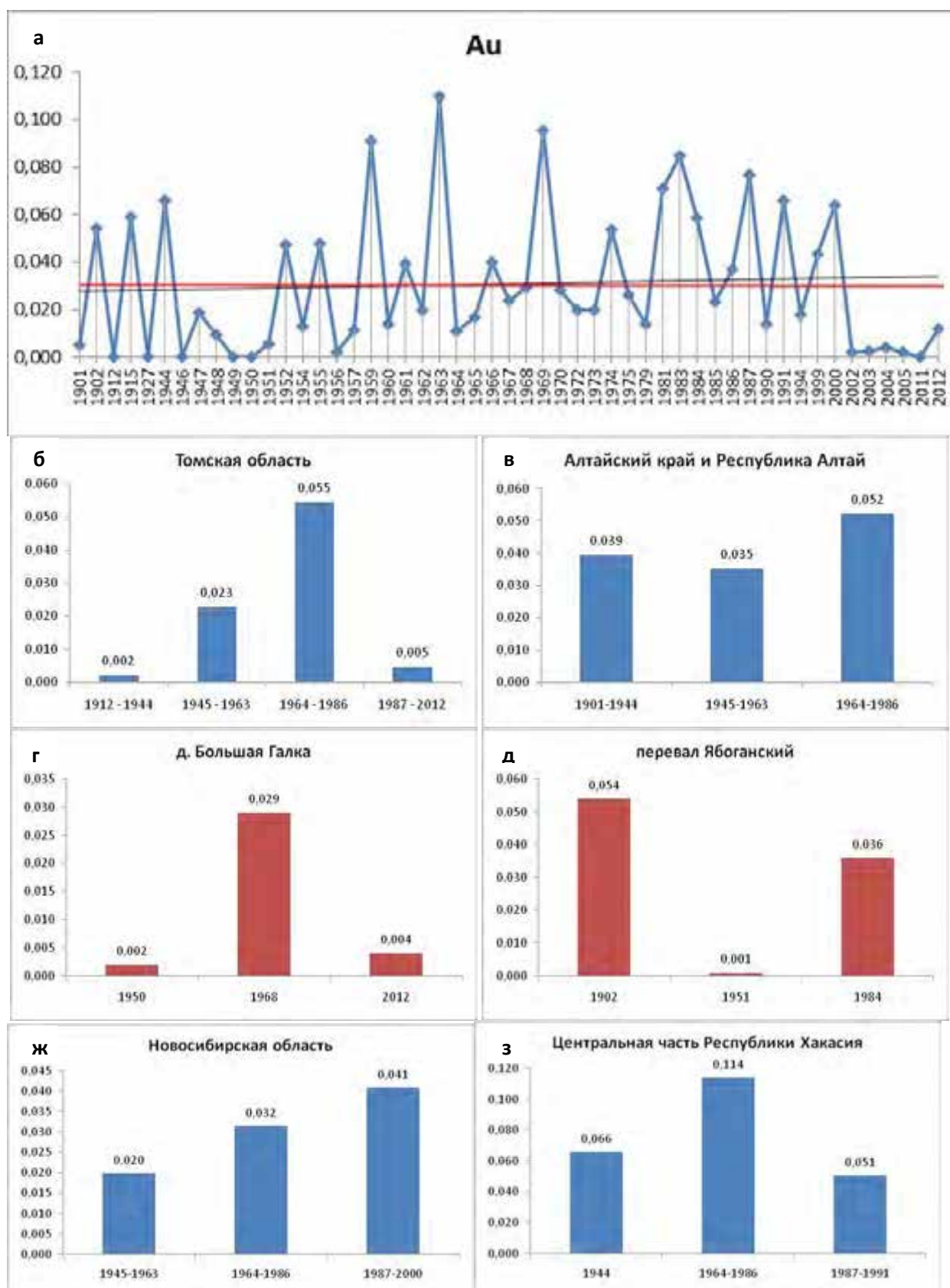


Рисунок Д.26 - Динамика содержания золота в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени.

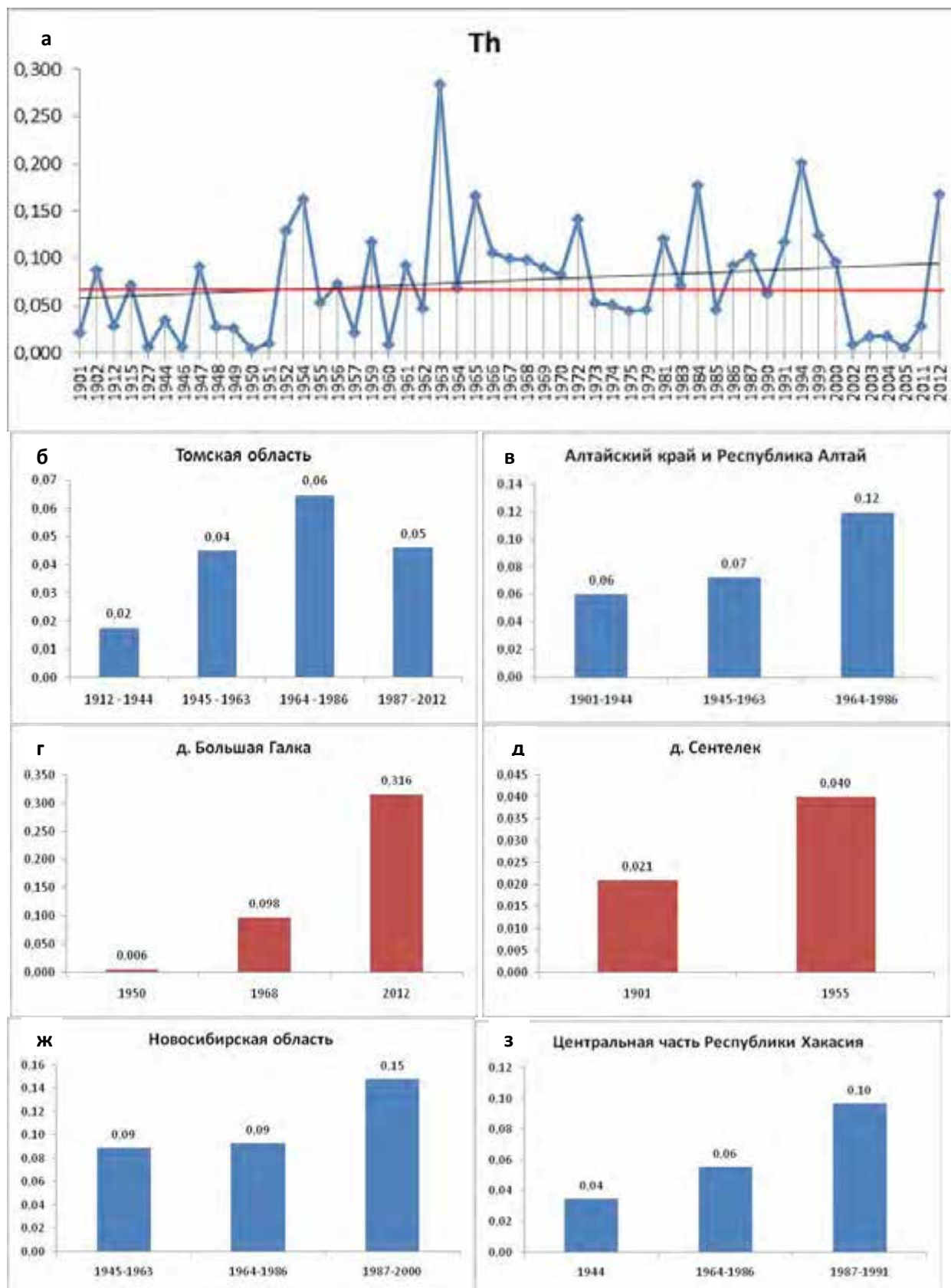


Рисунок Д.27 - Динамика содержания тория в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – д. Сентелек (Алтайский край); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени

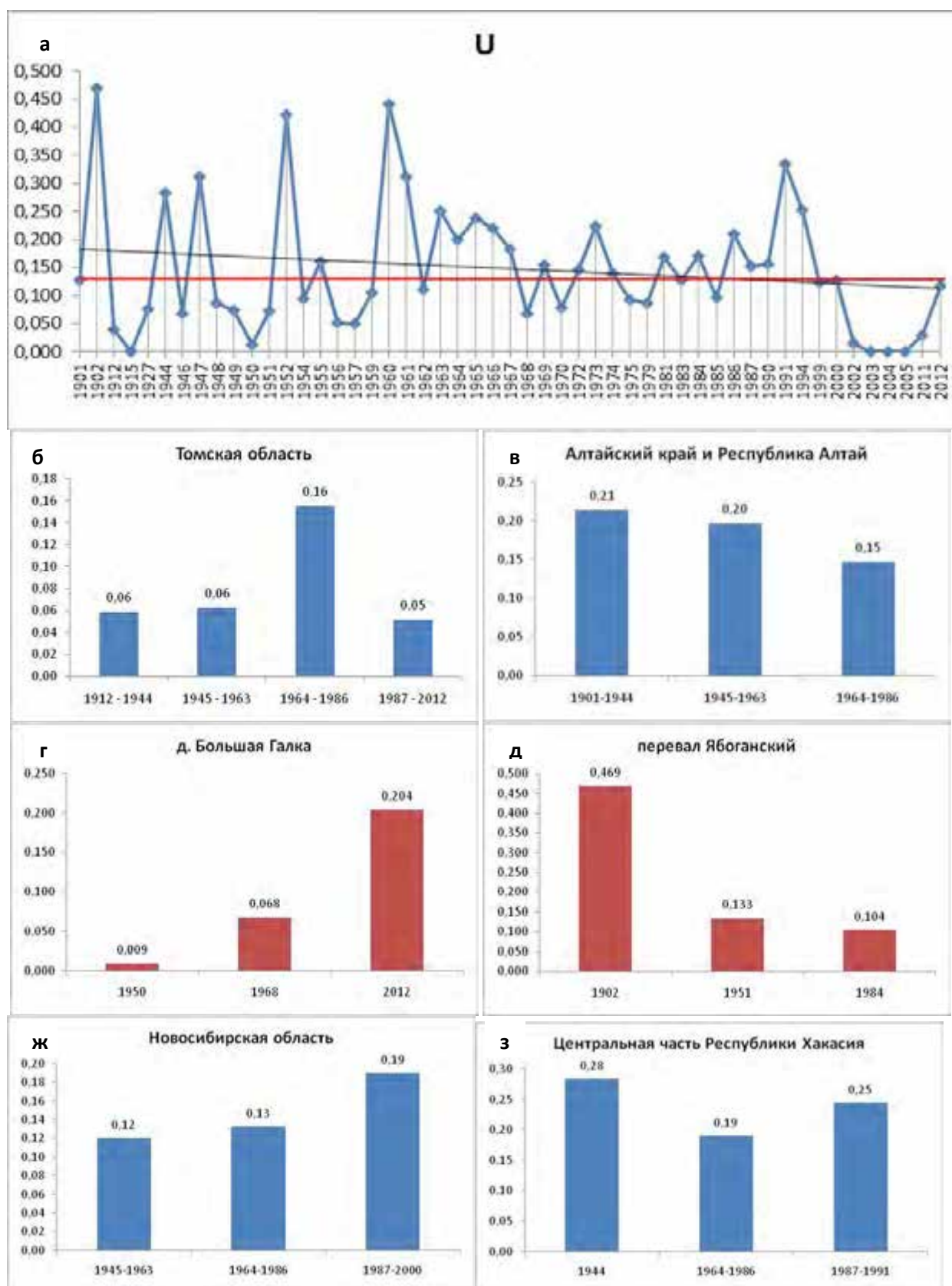


Рисунок Д.28 - Динамика содержания урана в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L)

Махѣм) на территории юга Сибири

а – общая динамика по югу Сибири; б – Томская область; в – Республика Алтай; г – д. Большая Галка (Томская область); д – перевал Ябоганский (Республика Алтай); ж – Новосибирская область; з – центральная часть Республики Хакасия; — - среднее содержание элемента; — - тенденция (тренд) содержания элемента во времени