

На правах рукописи



**Черненкокая Елена Владимировна**

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

**Специальность 25.00.36 –Геозкология (науки о Земле)**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск-2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», на кафедре геоэкологии и геохимии

**Научный руководитель:**

доктор биологических наук, профессор  
**Барановская Наталья Владимировна**

**Официальные оппоненты:**

**Страховенко Вера Дмитриевна**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук (г. Новосибирск), ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии

**Белоголова Галина Александровна**, кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской Академии наук (г. Иркутск), старший научный сотрудник лаборатории геохимии окружающей среды и физико-химического моделирования

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии наук (ИВЭП СО РАН), г. Барнаул.

**Защита состоится** «24» июня 2016 года в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (20-й корпус, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте: <http://potral.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2016 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
к. г.-м. н., доцент



Л.В. Жорняк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** С появлением и развитием человечества происходит постоянное изменение геохимического состава природных сред. В результате техногенеза (Ферсман, 1934) 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.

**Цель работы:** выявить индикаторные показатели 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 специфических 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  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  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 высокочувствительными 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 р-уровне от 0,001 до 0,01.

**Практическая значимость:**

1. 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;

2. 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.

3. 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 источников.

**Во введении** обоснована актуальность темы и проведенных исследований. Определены цель и задачи диссертации, защищаемые положения, представлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, обозначен личный вклад автора и апробация работы. **В первой главе** дан обзор исследований по содержанию химических элементов в растениях и их индикационной роли в выявлении природных и техногенных геохимических аномалий. **Вторая глава** содержит характеристику геохимических особенностей биосферы с точки зрения доядерного (до 1944 года включительно), ядерного (с 1945 по 1963 годы) и современного (с 1964 по настоящее время) периодов времени. **В третьей главе** описаны материалы и методы аналитических исследований, дана геоэкологическая характеристика района исследований. **В четвертой главе** представлены особенности элементного состава *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Filipendula Ulmaria* (L) Maxim юга Сибири. Установлена региональная специфика элементного состава растений некоторых локальных территорий юга Сибири, выявлены элементы и их соотношения - индикаторы. **В пятой главе** представлена историческая реконструкция динамики изменения элементного состава растений на территории юга Сибири, показаны тенденции изменения содержаний химических

элементов от доядерного к современному периоду со спецификой концентрирования химических элементов и изменением их отношений на различных территориях. **В шестой главе** показана динамика содержания изотопов плутония в составе *Vaccinium myrtillus* и *Filipendula Ulmaria* (L) Maxim, произрастающих на территории юга Сибири. **В заключении** подведены итоги исследования, сформулированы основные выводы.

**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. Сформулированы защищаемые положения. 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.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**ПОЛОЖЕНИЕ 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 специфических химических элементов (Cr, Fe, Co) отражает глобальную тенденцию металлизации биосферы.

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. Сводные данные по содержанию химических элементов в чернике, бруснике и лабазнике вязолистном на территории юга Сибири показывают, что элементный состав растений изменяется как в зависимости от территориального фактора, так и от видового (таблица 1). Однако, вне зависимости от видовой принадлежности, относительно данных В. Markert (1991) по сухому веществу надземной части растений, изученные виды юга Сибири одинаково концентрируют в своем составе Na, Sc, Cr, Fe, Co, As, Br, Ba, Na, Eu, Tb, Ta, Au, Th, и U.

Природные геохимические аномалии ярко отражаются в специфике накопления на локальных территориях юга Сибири. Так, на основе нормирования полученных нами средних содержаний элементов к среднему по выборке, установлены значительные различия в геохимическом спектре состава брусники, черники (рисунок 1) и лабазника (рисунок 2) для территорий Томской области и Алтайского региона.

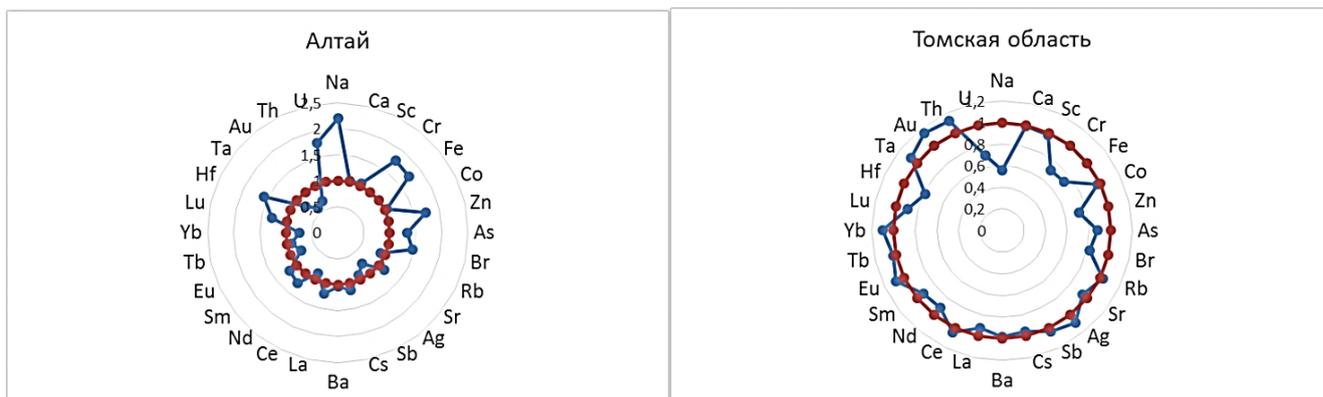


Рисунок 1 – Коэффициенты концентраций элементов в составе черники обыкновенной на территории Томской области и Алтайского региона (сухое вещество, нормирование к среднему по выборке)



Рисунок 2 - Коэффициенты концентраций элементов в составе лабазника вязолистного на территории Томской области и Алтайского региона (сухое вещество, нормирование к среднему по выборке)

Таблица 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± стандартная ошибка										Market, 1991
	Черника обыкновенная ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )					Лабазник вязолистный ( <i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim)					
	Томская область (N=35)	Алтай (N=13)	Юг Сибири (N=49)	Брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> )	Томская область (N=25)	Юг Сибири (N=28)	Томская область (N=58)	Алтай (N=27)	Юг Сибири (N=121)		
Na	93±17	369±63	162±27	118±25	109±22	175±29	367±33	294±21	150		
Ca	579±456	5776±755	5599±380	4222±316	4098±305	5258±497	8343±675	6944±345	10000		
Sc	0,03±0,006	0,03±0,01	0,03±0,005	0,04±0,007	0,03±0,007	0,06±0,01	0,11±0,02	0,09±0,007	0,02		
Cr	3,1±0,7	7,6±3,5	4,2±1,1	2,2±0,8	2,0±0,73	2,1±0,7	17±2,3	9±1,1	1,5		
Fe	255±40	611±218	292±71	336±48	315±45	342±63	1497±198	881±76	150		
Co	0,4±0,05	0,4±0,1	0,4±0,04	0,2±0,03	0,2±0,03	0,3±0,04	1,0±0,2	0,65±0,06	0,2		
Zn	25±3,4	59±19	34±6	37±5	35±4,6	53±6,4	53±6,5	65±4	50		
As	0,2±0,04	0,3±0,06	0,18±0,04	0,15±0,02	0,14±0,02	0,3±0,03	0,3±0,05	0,3±0,02	0,1		
Br	7,3±1,0	13,1±3,1	8,8±1,1	8,6±1,7	8,0±1,5	13±2,0	20±5,3	18±2	4		
Rb	14±1,4	12±2,7	13,3±1,3	6±0,8	5,4±0,8	8,6±1,0	4,1±0,9	9±0,8	50		
Sr	13±1,5	16±2,5	9,5±1,7	13±1,7	14±1,8	25±2,6	32±3,8	31±2,3	50		
Ag	0,09±0,02	0,06±0,01	0,05±0,02	0,08±0,02	0,07±0,02	0,05±0,002	0,06±0,005	0,06±0,003	0,2		
Sb	0,08±0,01	0,07±0,02	0,08±0,01	0,07±0,02	0,07±0,02	0,04±0,005	0,12±0,02	0,07±0,006	0,1		
Cs	0,05±0,007	0,05±0,02	0,05±0,007	0,04±0,007	0,03±0,006	0,04±0,005	0,03±0,008	0,04±0,004	0,2		
Ba	65±5,7	69±7	66±4,5	55±6,5	53±6	44±4,5	38±6,7	43±3	40		
La	0,09±0,02	0,1±0,02	0,09±0,01	0,17±0,05	0,15±0,04	0,3±0,04	0,3±0,04	0,3±0,02	0,2		
Ce	0,4±0,07	0,3±0,07	0,4±0,06	0,4±0,08	0,3±0,08	0,5±0,08	0,5±0,1	0,6±0,05	0,5		
Nd	0,7±0,1	0,9±0,2	0,7±0,1	0,7±0,2	0,7±0,2	0,7±0,08	0,8±0,1	0,8±0,06	0,2		
Sm	0,01±0,002	0,02±0,004	0,01±0,002	0,02±0,006	0,02±0,005	0,04±0,007	0,05±0,009	0,05±0,004	0,04		
Eu	0,009±0,002	0,007±0,001	0,009±0,002	0,005±0,001	0,004±0,001	0,008±0,001	0,005±0,001	0,008±0,0008	0,008		
Tb	0,01±0,002	0,01±0,002	0,009±0,002	0,006±0,001	0,006±0,001	0,008±0,001	0,009±0,002	0,013±0,004	0,008		
Yb	0,01±0,003	0,008±0,002	0,009±0,002	0,01±0,003	0,01±0,003	0,02±0,004	0,02±0,005	0,022±0,003	0,02		
Lu	0,002±0,0003	0,003±0,001	0,002±0,0003	0,002±0,0004	0,002±0,0004	0,003±0,0006	0,003±0,0006	0,003±0,0003	0,003		
Hf	0,02±0,002	0,03±0,01	0,02±0,004	0,03±0,005	0,03±0,005	0,03±0,006	0,07±0,01	0,05±0,004	0,05		
Ta	0,009±0,002	0,006±0,002	0,006±0,002	0,006±0,001	0,006±0,0009	0,006±0,0008	0,006±0,002	0,007±0,0005	0,001		
Au	0,03±0,007	0,02±0,003	0,03±0,006	0,02±0,005	0,02±0,005	0,010±0,004	0,040±0,006	0,03±0,004	0,001		
Th	0,08±0,02	0,05±0,02	0,07±0,02	0,03±0,007	0,03±0,007	0,05±0,01	0,09±0,02	0,07±0,007	0,005		
U	0,05±0,009	0,13±0,04	0,07±0,01	0,04±0,01	0,04±0,009	0,06±0,008	0,18±0,03	0,13±0,01	0,01		

Геохимическая специфика гранитов Алтая находит яркое отражение в характере накопления более широкого спектра элементов, в то время как территория Томской области проявляется в золото–серебряной ассоциации и накоплении тория в чернике и бруснике и специфично концентрирующихся европия и некоторых других элементов в лабазнике, что косвенно может характеризовать ее как часть золотоносной провинции (Томь-Яйское междуречье), на которой имеет место проявления циркон–ильменитовой минерализации. Существенное концентрирование золота растениями в Томской области подтверждается высоким коэффициентом биологического поглощения данного элемента. При этом наблюдается достаточно высокая неоднородность в накоплении химических элементов в разных районах Томской области. Наибольшим спектром концентрирующихся элементов во всех изученных видах характеризуется Томский район Томской области как наиболее техногенно-трансформированный (рисунок 3).

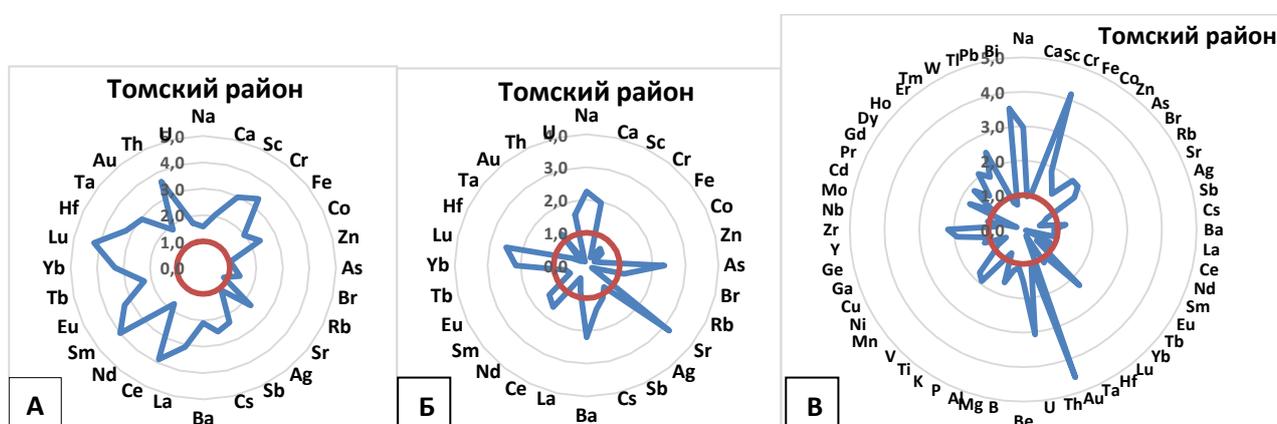


Рисунок 3 - Коэффициенты концентраций элементов в составе лабазника вязолистного (А), черники (Б) и брусники (В) на территории Томского района Томской области (сухое вещество, нормирование к среднему по области для каждого вида)

Нами так же установлено специфичное накопление в лабазнике Красноярского края Sr, Br, Fe, в лабазнике республики Хакасия - Au, Cr, и Fe, а в растении, произрастающем на территории Новосибирской области – Tb.

Помимо непосредственного содержания элементов в качестве индикатора геоэкологической ситуации на территориях произрастания растений могут выступать показатели соотношений элементов. Некоторые из них являются индикаторными для выявления как природных, так и техногенных геохимических аномалий. В частности, по величине Th/U соотношения в составе растений, которое изменяется от 1,05 до 1,67, выделяется зона распространения циркон-ильменитовых месторождений на территории Томского района, Томской области, что указывает на повышенные уровни накопления тория живым веществом на данной территории. Алтайский регион, в отличие от территории Томской области, выделяется преобладанием урановой специфики в составе растений, но по поступлению U и Th он неоднороден. Растения, произрастающие в полях развития гранитов горно-таёжных областей, имеют показатели Th/U соотношения от 0,20 до 0,28 и характеризуются урановой специализацией. В тех местах Алтайского региона, 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.

В целом, показатели отношений некоторых элементов позволяют говорить об их индикаторной роли в составе растений при выявлении эколого-геохимической специфики регионов произрастания (таблица 2).

Таблица 2 – 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

При анализе корреляционных зависимостей каждого вида растения были установлены значимые положительные взаимосвязи между элементами, которые, на наш взгляд, отражают эколого-геохимическую специфику территории своего произрастания (таблица 3). 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. 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. Кроме того, с учетом динамики содержания химических элементов в каждом виде растений и с определенного места сбора можно сделать вывод, что U, Cr, Fe имеют техногенный источник поступления в состав растений, т.к. имеют высокие концентрации во всех видах в современном периоде по сравнению с доядерным периодом (рисунок 4).

Таблица 3 – 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

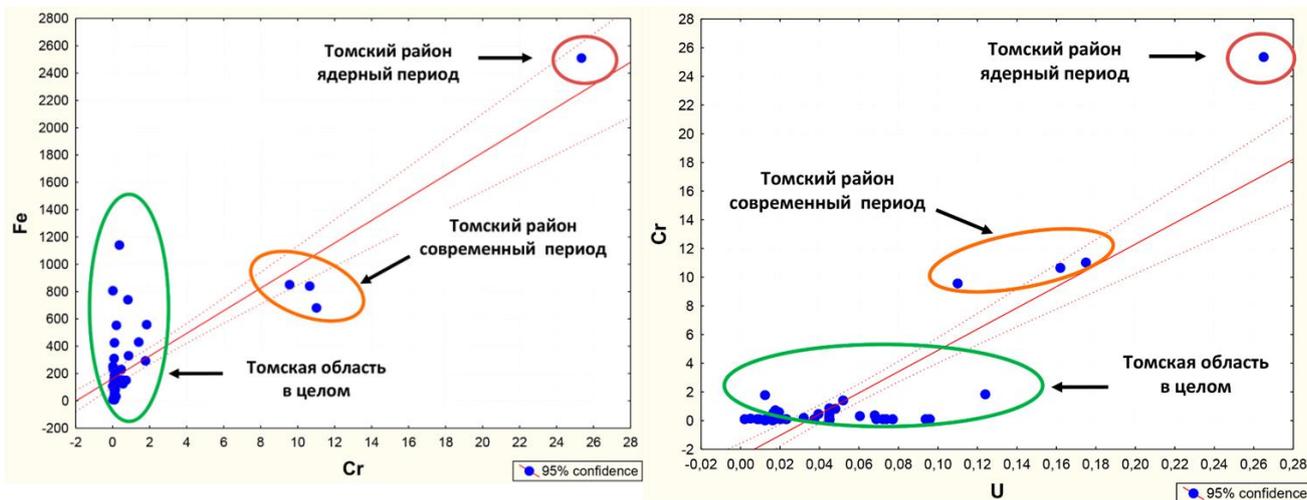


Рисунок 4 – Изменение отношения химических элементов Fe, Cr и U в лабазнике (*Filipendula Ulmaria (L) Maxim*) в разных временных периодах на территории районов Томской области.

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.). Так, на локальных участках, на территориях достаточно удаленных от мощных техногенных источников мы можем наблюдать значительное повышение содержания большинства изученных элементов, что может объясняться именно процессами их глобального перераспределения (рисунок 5).

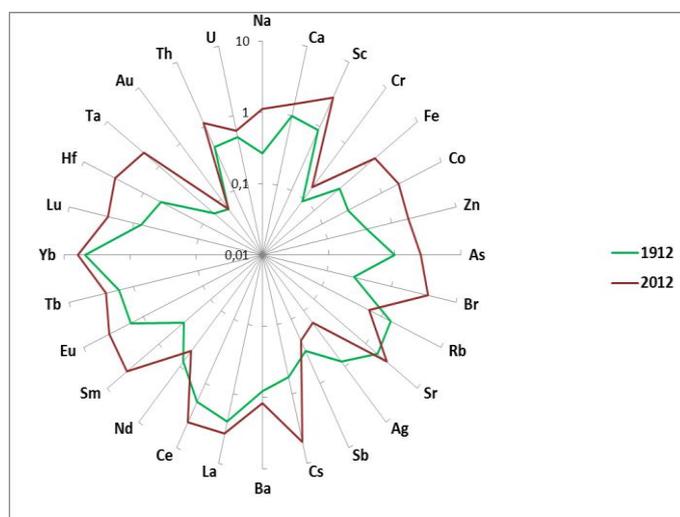


Рисунок 5 – Элементный состав лабазника вязолистного г. Колташево Томской области в 1912 и 2012 годах

Таким образом, проведенные исследования позволили установить индикаторы геоэкологического состояния территорий произрастания элементного состава трех видов растений: черника (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), лабазник (*Filipendula Ulmaria*

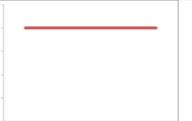
(L)) и выявить общую тенденцию к концентрированию отдельных химических элементов на локальных территориях, связанную с проявлениями процессов техногенной трансформации биосферы.

**ПОЛОЖЕНИЕ 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.

Материал, полученный в результате изучения элементного состава травянистых и кустарничковых 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. Тенденции изменения элементного состава изученных видов растений различны. На основе полученных данных, установлены три основные тенденции в динамике накопления элементов в растениях юга Сибири начиная с 1912 года, которые характерны для всех изученных растений вне зависимости от видовой принадлежности (таблица 4).

Таблица 4 – Основные тенденции в динамике накопления элементов в составе черники, брусники и лабазника территории юга Сибири

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

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

Установлено, что 10 из 28 изученных элементов имеют тенденцию к увеличению концентрации с годами: Na, Ca, Sc, As, Sr, La, Sm, Yb, Lu, Hf, Au, а один элемент – Ag, показывает динамику уменьшения содержания.

Для детализации информации о концентрировании химических элементов растениями в разных геоэкологических условиях относительно развития прежде всего ядерного техногенеза нами современный период с 1964 по 2012г был условно разделен на два временных интервала – непосредственно постядерный с 1964 по 1986 год и современный с 1987 по 2012год. 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 Китае 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. Геохимия каждого периода характеризуется своими особенностями химического состава сред, что и отражается в элементном составе растительности (рисунок 6).

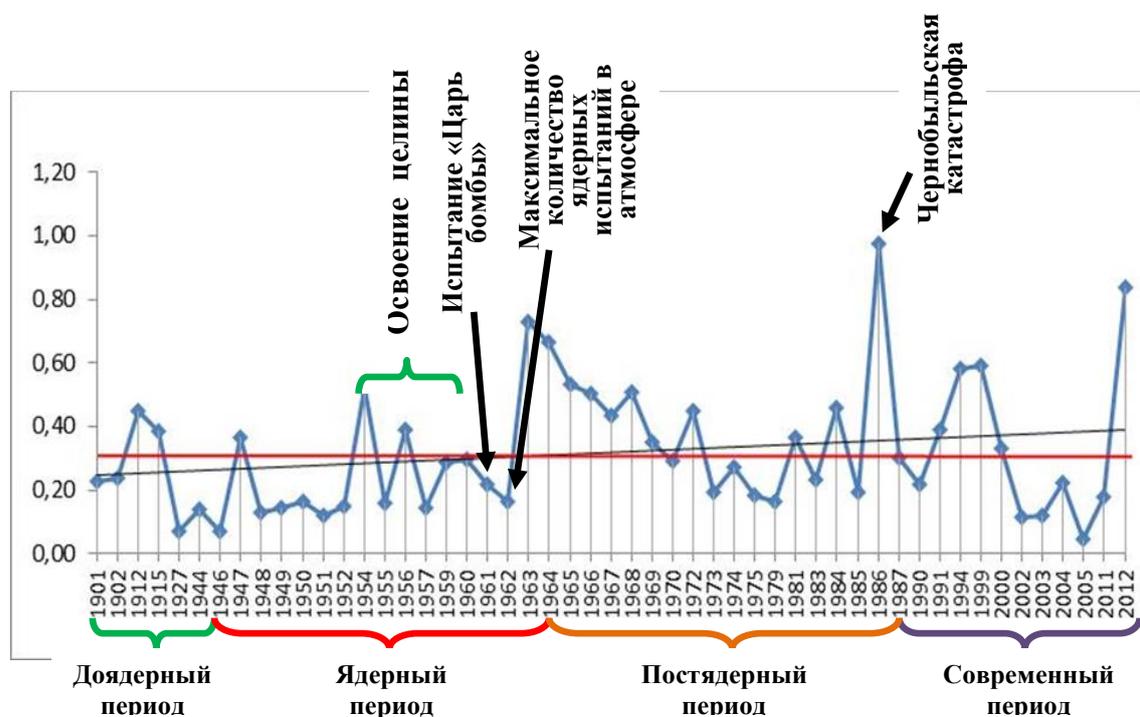


Рисунок 6 – Изменение содержания химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) в период с 1901 по 2012 года

Анализ динамики изменения содержания элементов по локальным участкам и регионам юга Сибири показал, что как для Томской области, так и для Алтайского региона существует своя специфика в накопления элементов в составе растений с течением времени, которая обусловлена особенностями развития техногенеза отдельных территорий (рисунок 7).

Так, к особенностям формирования элементного состава растений в ходе развития техногенеза на территории Томской области следует отнести поступление Rb в ядерный период с 1945 по 1963гг. 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. Это хорошо

демонстрируют графики накопления элементов в растениях на территориях Томского и Бакcharского районов Томской области (рисунок 8, 9), демонстрирующие нарастание концентрации специфичных групп элементов, включая редкоземельные и радиоактивные от ядерного к современному периоду.

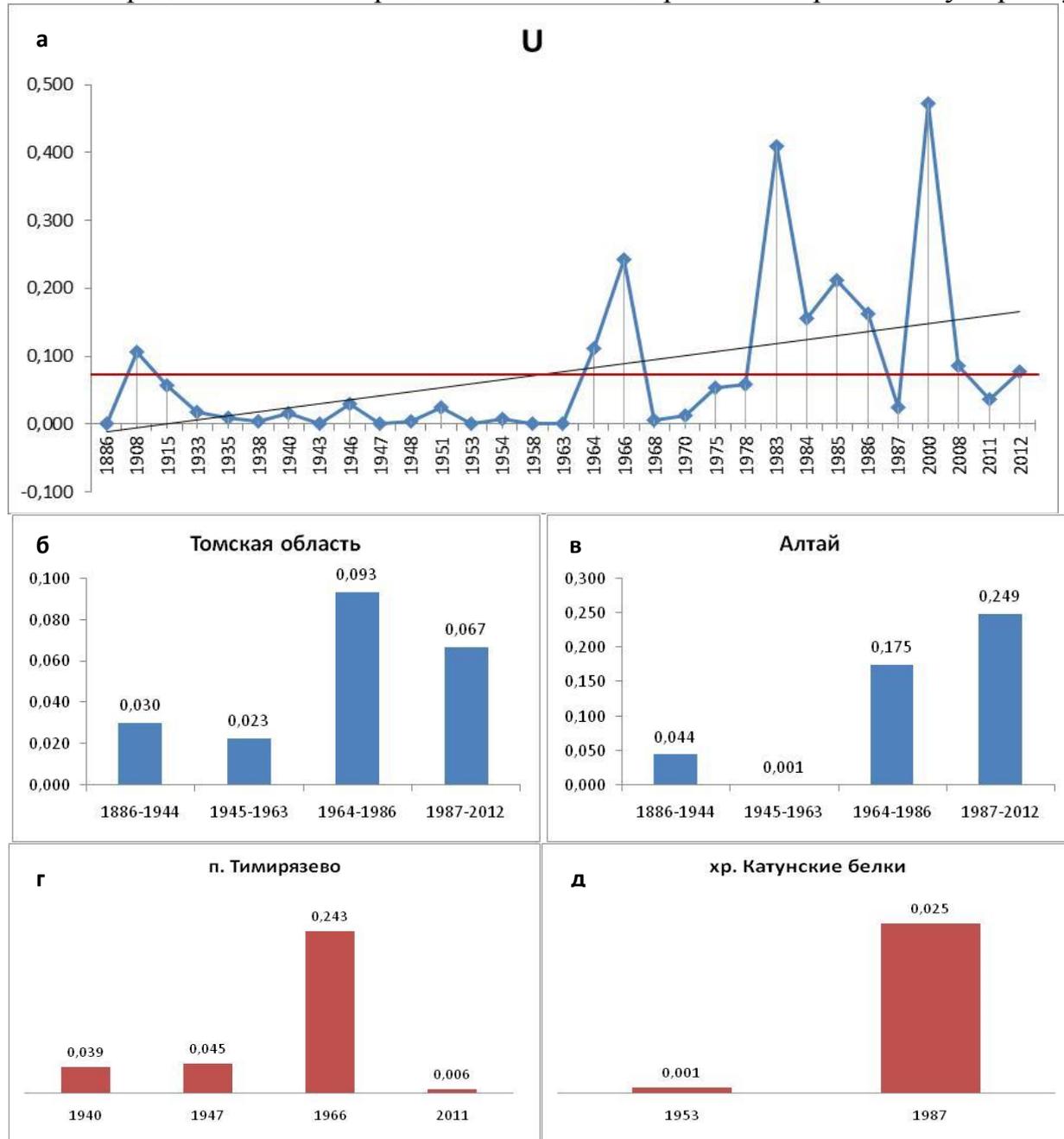


Рисунок 7 - Динамика содержания урана в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории юга Сибири

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

Особенности развития техногенеза Республики Алтай характеризуются поступлением в состав растений этой территории в современном периоде с 1987 по 2012гг. 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).

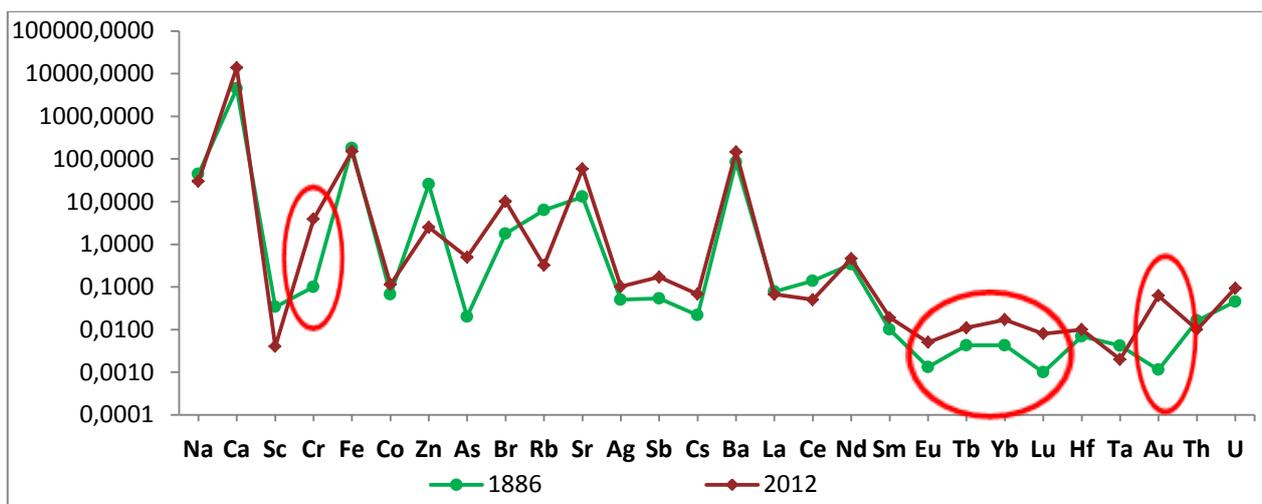


Рисунок 8 – Изменение содержания химических элементов в чернике (*Vaccinium myrtillus*) п. Головино Томской области в 2012г. относительно 1886г.

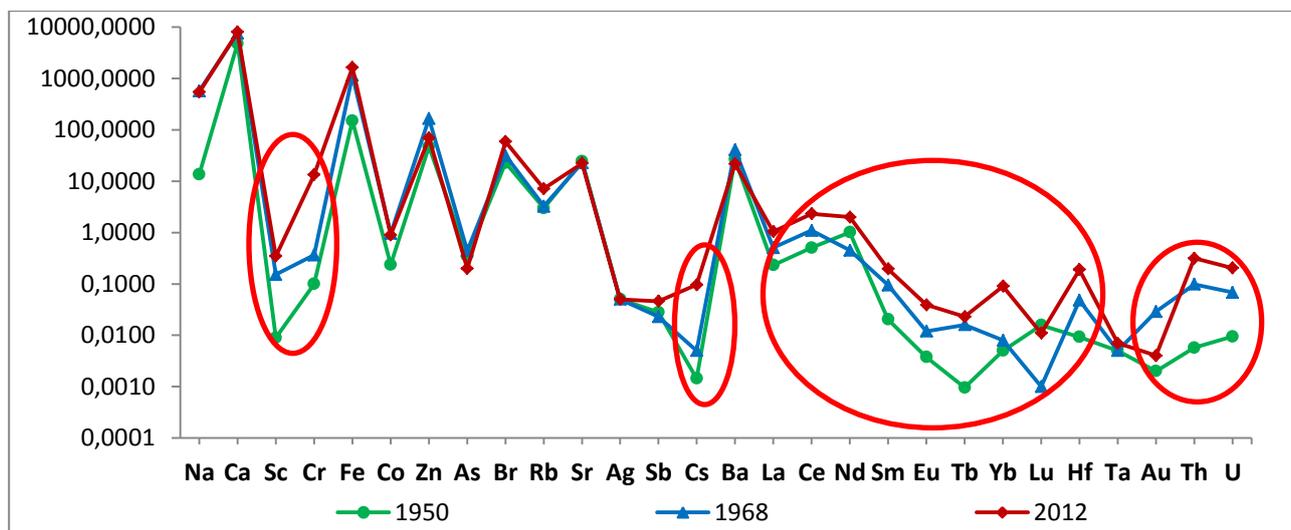


Рисунок 9 – Изменение содержания химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) д. Большая Галка Бакчарского района Томской области

Таблица 5 – 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

Таким образом, локальной спецификой накопления элементов растениями в Томской области является концентрирование Co, Ce, Eu, U, а в Алтайском регионе Cr, Fe, Sb, Ba, Tb.

Кроме того, по динамике изменения величин соотношений Th/U и La/Yb в составе черники и брусники установлена резкая смена геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом (таблица 6).

Таблица 6 – Величины Th/U и La/Yb отношений в изученных видах растений

Периоды	Черника обыкновенная (Vaccinium myrtillus)				Брусника (Vaccinium vitis-idaea)		Лабазник вязолистный Filipendula Ulmaria (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	-	-

Таким образом, на основе полученных результатов установлена специфика концентрирования химических элементов в растениях Томской области и Алтайском регионе, а так же выявлены общие тенденции изменения динамики содержания вне видовой специфики в растениях юга Сибири.

**ПОЛОЖЕНИЕ 3.** Измеряемо значимые активности  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  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.

Динамику развития ядерного техногенеза можно достоверно проследить по динамике концентрирования изотопов плутония в различных средах. Основными источниками глобального 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 7).

Таблица 7 – 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 которых неоднократно случались инциденты и аварии с выносом радиоактивных веществ в окружающую среду.

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. Анализ полученных данных по активности изотопов плутония, как в гербарных образцах растений, так и в современном материале 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.) и в районе размещения предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) отмечаются более высокие уровни накопления изотопов плутония в рассмотренных типах растений (рисунок 10).

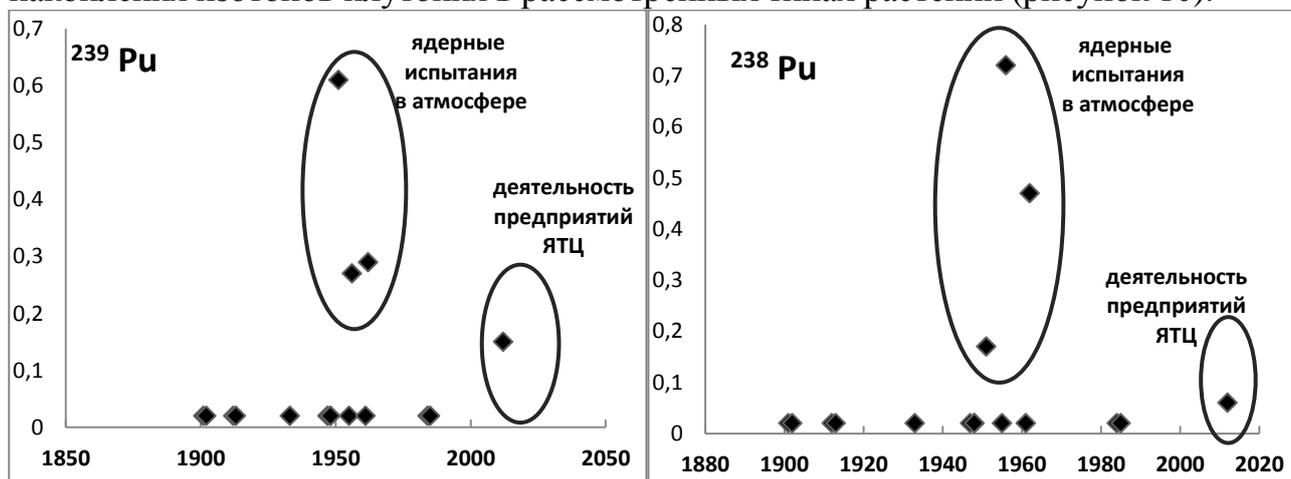


Рисунок 10 - Динамика удельной активности  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в составе черники (*Vaccinium myrtillus*) и лабазника (*Filipendula Ulmaria* (L) Maxim) юга Сибири, Бк/кг сухого вещества

Тенденция увеличения содержания плутония в растениях в ядерный период времени установлена нами для лабазника вязолистного, отобранного в районах Семинского и Катунского хребтов Республики Алтай (рисунок 11).

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, что, с высокой долей вероятности, объясняется функционированием в этой местности плутониевого производства на СХК (рисунок 11 Б).

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 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ), поступивших при ядерных взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне в 1949–1962 гг. и на полигоне Лобнор в 1970–1980 гг. (Рихванов, 2004; Робертус, 2013). На территории

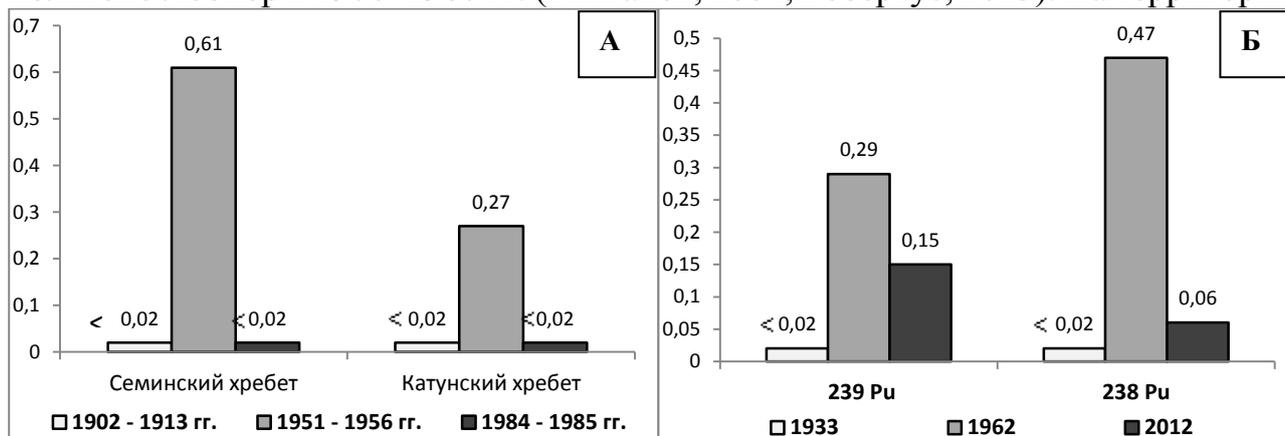


Рисунок 11 - Динамика удельной активности  $^{239}\text{Pu}$  в составе лабазника (*Filipendula Ulmaria (L) Maxim*) Семинского и Катунского хребтов Республики Алтай (А) и динамика удельной активности  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в составе черники (*Vaccinium myrtillus*) п. Тимирязево Томской области (Б) в разные годы, Бк/кг сухого вещества

Томской области 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).

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 растениях устанавливается только в сборах ядерного периода (1945 - 1963 гг.), а в районе, где функционирует предприятие ЯТЦ, содержание плутония в растениях фиксируется и в современном периоде времени (рисунок 12).

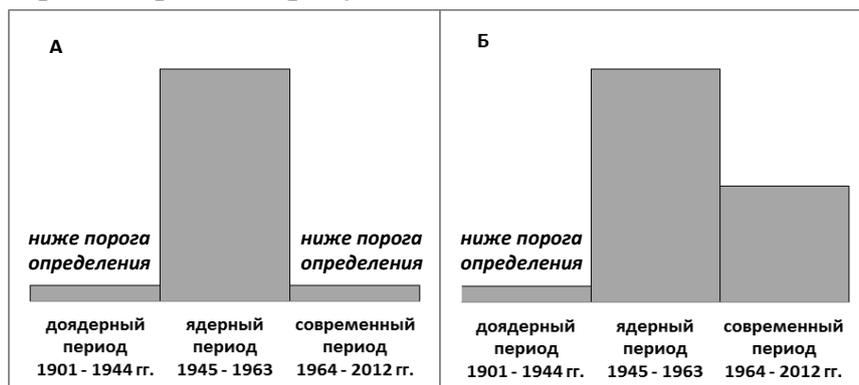


Рисунок 12 –Обобщенная сравнительная диаграмма поступления плутония в растения в районах с отсутствием ядерных производств (А) и в районе с предприятием ядерно-топливного цикла (Б)

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

При анализе полученных нами данных, установлены 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). Это, на наш взгляд, связано со спецификой миграции и накопления  $^{238}\text{Pu}$  в живом веществе, что требует дальнейшего изучения. Так, в работе W.R. Schell на основе повышенных отношений  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239}\text{Pu}$  сделано заключение о преимущественной подвижности  $^{238}\text{Pu}$  (Schell, 1980). Такой вывод обусловил появление гипотезы о быстром истощении вещества с высокой удельной активностью  $^{238}\text{Pu}$ , 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  $^{238}\text{Pu}$  фактор передачи (коэффициент биологического поглощения) в живом веществе значительно выше, чем у  $^{239}\text{Pu}$  (Skwarzec, 2010).

Таким образом, измеряемо значимые активности  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  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.

### **Заключение и выводы**

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  $^{239}\text{Pu}$  и 0,06 Бк/кг  $^{238}\text{Pu}$ , что, с высокой долей вероятности, объясняется функционированием в этой местности плутониевых производств на Сибирском химическом комбинате.

8. Отношение изотопов  $^{238}\text{Pu}$  к  $^{239}\text{Pu}$  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  $^{238}\text{Pu}$  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 работ, опубликованных по теме диссертации**

#### **Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК**

1. Барановская, Н.В. Особенности накопления химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории Западной Сибири / Н.В. Барановская, **Е.В. Черненко** // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2-2. – С. 299-306.

2. **Черненькая, Е.В.** Плутоний в некоторых типах травянистой и кустарничковой растительности юга Западной Сибири / Е.В. Черненькая, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 2-5. – С. 984-991.

**Основные публикации в научных журналах, трудах международных и всероссийских конференций**

3. **Черненькая, Е.В.** Динамика накопления химических элементов в лабазнике вязолистном (*Filipendula Ulmaria*) Томской области /Е.В. Черненькая, А.С. Миронова // *Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 2-7 апреля 2012 г., Томский политехнический университет*. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – Том II – С. 623-625.

4. Барановская, Н.В. Динамика накопления химических элементов в растениях Томской области/ Н.В. Барановская, **Е.В. Черненькая**, А.С. Миронова // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде»*, Семей, Республика Казахстан, 4-8 октября 2012 г., Семипалатинский государственный педагогический институт. – Семей, 2012. – Том I. – С. 331-334.

5. **Черненькая, Е.В.** Динамика накопления химических элементов в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea*) Томской области / **Е.В. Черненькая**, Н.В. Барановская // *Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 28 февраля 2015 г.: в 13 частях. Часть 7*. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 142-146.

6. Колесникова, Е.А. Особенности элементного состава надземной части лабазника вязолистного/ Е.А. Колесникова, Н.В. Барановская, **Е.В. Черненькая** // *Сборник научных трудов: Геология в развивающемся мире*, Пермь, 23-26 апреля 2015 г.- Пермь, 2015. – Т. II. – С. 281-284.

7. Колесникова, Е.А. Региональные особенности элементного состава надземной части *Filipendula Ulmaria* (*Rosaceae*) (юг Сибири) / Е.А. Колесникова, Н.В. Барановская, **Е.В. Черненькая** // *Труды IX Международной биогеохимической школы: Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии*, Барнаул, 24-28 августа 2015 г. – Барнаул, 2015. – Т. II. – С. 139-142.