

На правах рукописи



Перминова Татьяна Анатольевна

**БРОМ В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ
И ОЦЕНКА ЕГО ТОКСИЧНОСТИ**

Специальность – 25.00.36 Геоэкология (науки о Земле)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск– 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на кафедре геоэкологии и геохимии и Технологическом университете Труа, Франция в центре междисциплинарных исследований в области устойчивого развития

Научный руководитель: доктор биологических наук, доцент, **Барановская Наталья Владимировна**

Научный консультант: Ph.D., **Ларатт Бертран**

Официальные оппоненты:

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

Конарбаева Галина Акмулдиновна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПА СО РАН, г. Новосибирск), ведущий научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН, г. Москва)

Защита диссертации состоится «26» октября 2017 года в 15 часов 00 минут 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» (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан «29» июня 2017 года

Ученый секретарь диссертационного совета,

К. Г.— М. Н.



Л.В.Жорняк

Общая характеристика работы

Актуальность. Бром, в противоположность другим, даже менее распространенным химическим элементам, до сих пор остается одним из наименее изученных (*Памяти первых...*, 1994). Работы, затрагивающие вопросы его накопления и миграции в окружающей среде, выполнялись рядом исследователей и показали неоднозначное поведение и высокие индикаторные свойства элемента (*Селиванов, 1939; Виноградов, 1939; Сулин, 1946; Кротова, 1956; Красинцева, 1968; Розен, 1970; Перельман, 1979; Полянский, 1980; Кабата-Пендиас, 1989; Иванов, 1996; Конарбаева, 2008 и др.*). Большая часть имеющихся публикаций посвящены именно рассмотрению природных особенностей поведения брома в окружающей среде, в то время как все более пристального внимания требуют исследования по техногеохимии элемента ввиду его широкого использования в многочисленных сферах человеческой деятельности: сельское хозяйство, медицина, химическая, пищевая, фармацевтическая промышленности и мн. др. (*Полянский, 1980; Ксензенко, 1995; Гринвуд, 2008; Yoffe et al., 2013*).

Бром является одним из важнейших участников формирования пищевой цепочки: атмосфера – почва – природные воды – растения – животные – человек (*Конарбаева, 2008*). А формирующийся «симбиоз» природно – антропогенных источников элемента, обуславливающий комплексность и многофакторность его поступления в окружающую среду, несомненно, оказывает влияние на особенности накопления и распределения галогена, как в каждом отдельном звене вышеописанной пищевой цепи, так и в ее совокупности.

Томская область представляет особой интерес с точки зрения изучения брома ввиду присутствия на данной территории большого количества потенциальных природных (месторождения нефти и газа, торфа, угля, подземных вод, в т. ч. йод-бромных и др.) и антропогенных источников элемента. Последние, сосредоточены, главным образом, в Томском районе области, а именно в зоне Северного промышленного узла – СПУ (*Экология ..., 1994*). Поступление элемента в окружающую среду области может быть также связано с выбросами автотранспорта (*Shah et al., 1970; Block et al., 1978; Begak et al., 2001*) и авиатранспорта (*Zikovsky, 1986*) – в пределах Томского района области находится аэропорт «Богашево», являющийся основным действующим международным аэропортом федерального значения.

Вместе с тем актуальным является вопрос выбора наилучшего способа оценки состояния окружающей среды, позволяющего оценить токсическое воздействие как для экосистем, так и для здоровья человека. Связано это с тем фактом, что бром может быть чрезвычайно токсичным (*Groff, 1955; Voss, 1961; Иванов, 1996; Метелев, 1971; Грушко, 1979; Nazer et al., 1982; Филов, 1988; WHO, 1988; IUCLID, 2000; Kabata-Pendias, 2011, Арбузова и др, 2013 и мн.др.*), оказывая отрицательное воздействие на важнейшие физиологические функции живых организмов и участвуя в развитии и образовании некоторых видов заболеваний (*Pehrsson et al., 1983; Lin et al., 1985; Sarmani et al., 1990; Bumbalova et al., 1991; Ehmann et al., 1996; Pavelka, 2002 и мн.др.*). Бром относится к элементам, который чаще других приводит к повышенному риску для здоровья человека (*Valdes, 2012*), с ним связано, как минимум, 11 различных патологий (*Авцын, 1991*).

Доступность значительного количества современных способов оценки состояния окружающей среды (*Perminova et al., 2016*) предоставляет возможным осуществление комплексного анализа с использованием различных методов, подходов,

концепций и моделей, позволяющих прогнозирование негативных последствий на живые организмы, в том числе на здоровье человека. С точки зрения изучения токсичности химических элементов, методы экологического моделирования, приобретают все более широкое распространение ввиду ряда достоинств и представляют серьезный интерес в рамках геоэкологических исследований территорий (Rosenbaum et al., 2008).

Среди существующих экологических моделей, позволяющих оценивать токсическое воздействие на экосистемы и здоровье человека, отдельного внимания заслуживает модель USEtox, разработанная Обществом экологической токсикологии и химии (SETAC) в 2010 г. и рекомендованная для использования мировым научным сообществом: UNEP, EPA (S-10637-OP-1-0), Европейская комиссия (2013/179/EU, EUR 24571 EN) и др. (Rosenbaum et al., 2008, 2011; Henderson et al., 2011; Westh et al., 2015). Одним из преимуществ модели является учет многофакторности воздействия химических элементов: принимается во внимание их поступление ингаляционным и пероральным путями. Другим серьезным достоинством, представляющим уникальность модели и актуальность ее использования в контексте экологических исследований, является учет специфических ландшафтно–географических и климатических особенностей территории.

Для расчета токсического воздействия химических элементов на экосистемы и здоровье человека необходимо знание их характеристических коэффициентов (ХК) и массы в компонентах природной среды. Если данные по количественному содержанию элемента являются результатами аналитических исследований, то расчет ХК проводится по методике, предложенной в модели. ХК основаны на физико-химических свойствах элементов, особенностях их поведения в окружающей среде (например, скорость деградации в воздухе), а также на данных токсикологических исследований, полученных в опытах на экспериментальных животных и экстраполированных на человека, и играют значительную роль в геоэкологической оценке территории. На сегодняшний день база данных модели USEtox включает информацию по ХК для более, чем 3000 органических соединений и 25 неорганических элементов (As, Cr, Co и др.). Однако, ХК по бромю отсутствует, что определяет актуальность данных исследований.

Цель работы – установление особенностей накопления и распределения брома в компонентах природной среды Томской области, и оценка его токсичности для экосистем и человека, на основе рассчитанных характеристических коэффициентов, согласно модели USEtox.

Для ее решения поставлены следующие **задачи**:

- Провести литературный обзор по геоэкологическим аспектам накопления и распределения брома в природно – техногенных ландшафтах;
- Определить количественное содержание элемента в различных компонентах природной среды на территории Томской области и сравнить полученные данные с другими регионами России и зарубежья, а также литературными показателями;
- Провести анализ пространственно – временного распределения брома на исследуемой территории с обозначением локальных участков, характеризующихся повышенными содержаниями элемента, обусловленными природно – техногенными факторами;
- Провести ранжирование территории Томской области в соответствии с минимально – максимальным концентрированием элемента в компонентах природной среды;

- Установить индикаторные показатели отношений брома с другими химическими элементами в районах расположения промышленных предприятий;
- Выполнить расчет характеристических коэффициентов токсичности брома для компонентов природной среды в целях последующего их введения и использования в модели USEtox;
- Оценить токсическое воздействие брома для экосистем и человека на примере почв Томской области, с учетом ее ландшафтно-географических характеристик, и провести сопоставление с данными по заболеваемости населения Томской области;
- Провести ранжирование территории региона по степени опасности для экосистем и здоровья населения.

Основные защищаемые положения:

1. В рамках изучения круговорота брома в природно – техногенных системах установлено, что спецификой Томской области является существенное накопление и крайне неоднородное распределение элемента в наземных растениях и животных, а также в организме человека. Из абиотических компонентов, значительно более высокие содержания брома отмечаются в почвах Бакcharского и Кожевниковского районов относительно среднего по области, что не находит отражение в других объектах исследования этих территорий.
2. Специфика накопления брома в компонентах природных сред зависит от характера и комплексности природно-техногенного воздействия и проявляется в ассоциативных взаимосвязях элемента, неравномерности его концентрирования во времени, а также снижении содержания по мере удаления от зоны техногенного воздействия.
3. По результатам впервые рассчитанного характеристического коэффициента токсичности брома установлено, что элемент является более токсичным для экосистем, чем для человека. Ранжирование административных районов Томской области по степени токсического воздействия брома, с учетом ее ландшафтно-географических характеристик, показывает, что наибольшая опасность, обусловленная содержанием брома в почвах, характерна для здоровья жителей Бакcharского района области и для пресноводных экосистем Томского района, при минимальном вкладе брома в общий показатель токсичности.

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положены результаты исследований, проводимых лично автором, а также совместно с сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета. В работе также рассмотрен и использован материал, предоставленный коллегами–сотрудниками университетов и институтов г. Томска (Томский государственный университет, Сибирский государственный медицинский университет, Научно-исследовательский институт фармакологии СО РАМН); г. Павлодара (Павлодарский педагогический институт); г. Новороссийска (Институт геохимии биосферы, Южный федеральный университет); г. Улан–Удэ (Бурятский государственный университет) и др.

В рамках работы рассмотрено содержание брома в 2709 пробах. Из них 408 проб почвы, 19 проб углей, 36 проб донных отложений, 8 проб питьевых вод, 317 проб солевых отложений (накипь питьевых вод) и 34 пробы продуктов питания, а также 1887 проб живого вещества, включая органы и ткани человека, некоторые виды растительности и млекопитающих. Основная территория пробоотбора – Томская

область, для проведения сравнительного анализа рассматривались данные, полученные по другим регионам России и зарубежья.

Для количественного определения брома в компонентах природной среды использовались следующие методы: инструментальный нейтронно–активационный анализ (ИНАА), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Отдельные пробы биоматериалов изучались с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Все отобранные материалы анализировались в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения. Достоверность анализов подтверждалась контрольными определениями на разных средах, выполнялся внутренний контроль.

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб, проанализированных современными высокочувствительными аттестованными аналитическими методами (ИНАА, ICP-MS, рентгенофлуоресцентный анализ, сканирующая электронная микроскопия) в аккредитованных лабораториях, а также глубиной проработки фактического материала с использованием современных методов статистической обработки и литературы по теме исследования.

Научная новизна. Впервые проведен комплексный всесторонний анализ по особенностям накопления брома в значительном количестве компонентов природной среды. Рассмотрены особенности пространственного распределения элемента на территории Томской области в пределах ее различных природно – антропогенных условий.

Впервые рассчитаны характеристические коэффициенты токсичности брома для компонентов природной среды, в целях последующего их введения и использования в модели USEtox. Изучено токсическое воздействие брома на экосистемы и здоровье человека на основе рассчитанных характеристических коэффициентов токсичности и результатов по концентрированию элемента в почвах, с учетом ландшафтно – географических особенностей Томской области. Проведено ранжирование территории Томской области по соответствующей опасности для экосистем и здоровья человека.

Практическая значимость. По результатам исследования построены геохимические карты распределения брома в различных компонентах природной среды, проведено дифференцирование районов Томской области по уровням концентрирования брома в окружающей среде и определены районы области, в природных средах которых отмечаются повышенные содержания элемента, что может являться важным при проведении геоэкологического мониторинга территории.

Получены данные по характеристическому коэффициенту токсичности брома, ранее не включенного в модель USEtox. Полученные в рамках модели результаты по Томской области, как отдельной ландшафтно – географической зоны, могут быть использованы в будущем для проведения геоэкологических исследований, с целью изучения токсичности химических элементов и связанной с ними опасности для экосистем и здоровья человека.

Материалы, полученные в процессе выполнения работы, были использованы при проведении лекционных и практических занятий по курсу «Introduction to Environmental Science and Engineering» в Технологическом Университете Труа (Франция) для подготовки инженеров, а также могут быть использованы в курсах «Экология», «Геохимия живого вещества» и «Медицинская геология» для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Экология и природопользование» на кафедре

геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Томского политехнического университета.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на Всероссийских и Международных симпозиумах и конференциях: Международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2011–2013; 2015–2017); «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2012); Международной научно–практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы науки и образования (г. Тамбов, 2015); II Всероссийской научной конференции «Малышевские чтения» (г. Старый Оскол, 2015); IX Международной Биогеохимической школе «Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии» (г. Барнаул, 2015), Международной конференции «Ecodesign» (г. Токио, Япония, 2015), Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека (г. Томск, 2016); Международной конференции «The International Society for Ecological Modelling Global Conference 2016» (г. Тоусон, США, 2016).

Кроме того, результаты диссертационной работы докладывались на научных семинарах на кафедре ГЭГХ ТПУ (г. Томск, Россия), в центре по изучению окружающей среды и устойчивому развитию Технологического университета Труа (г. Труа, Франция), а также на кафедре гидрологии и геохимии университета Страсбурга (г. Страсбург, Франция).

Отдельные результаты работы рассматривались и обсуждались в рамках участия в научной летней школе “Toxicology and Environmental Health” (г. Утрехт, Нидерланды, 2015), а также «USEtox summer school» (г. Копенгаген, Дания, 2016).

Публикации. Основное содержание и научные результаты диссертационной работы опубликованы в 20 статьях и тезисах докладов, в том числе 2 статьи – в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и 1 статья на английском языке в журнале с ИФ 2,9, индексируемом в базе данных Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы и приложения, изложенных на 182 страницах машинописного текста. Она включает 78 рисунков и 33 таблицы. Список литературы содержит 354 источника, 127 из которых на иностранном языке.

Во введении указаны актуальность исследований, определены цель и задачи, показаны основные результаты, представлена их научная новизна и практическая значимость, а также обозначен личный вклад автора и апробация работы. **В первой главе** рассмотрены эколого – геохимические особенности брома, его основные физико–химические свойства, воздействие на живые организмы, а также гигиенические нормативы по элементу. **Во второй главе** представлен расширенный обзор литературы по бром, рассмотрены уровни его накопления в компонентах природной среды, основные области применения элемента и его соединений. **Третья глава** посвящена анализу существующих на сегодняшний день способов оценки экологического состояния окружающей среды. **Четвертая глава** содержит сведения о методике проведения исследований, способах отбора проб, их последующей подготовке, методах анализа, приемах математической обработки данных, а также методических основах модели USEtox. **В пятой главе** рассматривается краткая природно-климатическая и геоэкологическая характеристика территории Томской области. **Шестая глава** посвящена особенностям накопления и распределения брома в биотических и абиотических компонентах природной среды Томской области.

Проведен анализ уровней накопления брома в компонентах природной среды Томской области в сравнении с другими территориями Российской Федерации и зарубежья. В **седьмой главе** представлены особенности распределения брома в условиях техногенеза, на примере Томского района области. Проведен анализ изменения содержаний элемента с годами. Изучена геохимическая специфика компонентов природной среды в районах расположения нефтеперерабатывающих предприятий, рассмотрены индикаторные показатели отношений брома с другими химическими элементами. В **восьмой главе** рассматривается оценка токсического воздействия брома на состояние экосистем и здоровье человека с помощью экологической модели USEtox. Проведен анализ взаимосвязей между токсичностью брома в почвенных покровах и уровнем заболеваемости населения Томской области. В **заключении** рассматриваются основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Личный вклад автора заключается в отборе и подготовке для анализа 266 проб. Пробоотбор осуществлялся на территории Томской области (почвы, питьевая вода, накипь питьевых вод, волосы детей, кровь жителей, микроорганизмы минеральных источников, растительность, продукты питания), в регионе Гранд-Эст во Франции (почва, питьевая вода, листья тополя), а также в Байкальском регионе (микроорганизмы минеральных источников). Кроме того, автором, также был обобщен дополнительный материал, включающий 2433 пробы.

Автором лично проведена статистическая обработка всех данных, дана интерпретация полученных результатов и сформулированы защищаемые положения. Автором проводился расчет характеристических коэффициентов токсичности для брома, а также при совместной работе с авторами модели USEtox (P. Fantke, O. Jolliet), проводилось введение Томской области в модель USEtox, как отдельно ландшафтно-географической зоны. Доля участия автора в совместных публикациях пропорциональна долям остальных авторов.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность научному руководителю, доктору биологических наук, профессору кафедры ГЭГХ ТПУ Барановской Наталье Владимировне, а также научному консультанту, PhD Бертрану Ларатту за научное сопровождение, всестороннюю поддержку, понимание, мотивацию и помощь на всех этапах реализации работы. Особую благодарность автор выражает доктору геолого-минералогических наук, профессору кафедры ГЭГХ Рихванову Леониду Петровичу за ценные советы, рекомендации и всестороннюю помощь.

Автор признателен за помощь всем сотрудникам кафедры ГЭГХ ТПУ, а также сотрудникам Технологического университета Труа, Франция. За ценные советы и/или предоставление материала, автор выражает отдельную признательность профессору, д.г.–м.н. Е. Г. Язикову, профессору, д.г.–м.н. С. И. Арбузову, доценту, к.г.–м.н. А. М. Межибор, доценту, к.г.–м.н. Л. В. Жорняк, доценту, к.г.–м.н. И. С. Соболеву, старшему преподавателю, к.г.–м.н. Д. В. Наркович, старшему преподавателю, к.г.–м.н. А. Р. Ялалтдиновой, старшему преподавателю, к.г.–м.н. Б. Р. Соктоеву, старшему преподавателю, к.г.–м.н. Е. А. Филимоненко, к.г.–м.н. Е. В. Черненькой, старшему преподавателю А. Ю. Иванову. Автор глубоко благодарен исполнителям аналитических исследований: с.н.с А. Ф. Судыко, Л. В. Богутской, Г. А. Бабченко, С.С. Ильенку, Н. В. Федюниной. Автор также благодарит директора института почвоведения и агрохимии СО РАН, д.б.н. А. И. Сысо и сотрудников института за теплый прием, а также ведущего инженера В.В. Демина за помощь в осуществлении аналитических исследований. Автор признателен всем сотрудникам лаборатории гидрологии и геохимии университета Страсбурга за ценные советы. Отдельно автор

хотел бы поблагодарить П. Фантке, Н. Мюллер, О. Жоуле за активную помощь в работе с моделью USEtox, а также к.г.н. Н.В. Сирину за совместное сотрудничество и Ф. Братека за терпение, помощь и поддержку.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Технологического университета Труа (г. Труа, Франция); мобильности молодых ученых, предоставленной Посольством Франции в России (стипендия им. В.И. Вернадского для аспирантов); академической мобильности ТПУ «Плюс»; а также гранта президента РФ для обучения за рубежом (2016–2017).

Защищаемые положения

ПОЛОЖЕНИЕ 1. В рамках изучения круговорота брома в природно – техногенных системах установлено, что спецификой Томской области является существенное накопление и крайне неоднородное распределение элемента в наземных растениях и животных, а также в организме человека. Из абиотических компонентов, значимо более высокие содержания брома отмечаются в почвах Бакчарского и Кожевниковского районов относительно среднего по области, что не находит отражение в других объектах исследования этих территорий.

Специфичные природные особенности Томской области (отложения древних эпох соленакопления; уникальные ресурсы вод, связанные с длительным на протяжении почти всего мезозоя и кайнозоя сохранением континентальных условий осадконакопления), наличие широкого спектра полезных ископаемых (месторождения бурых углей, торфов, углеводородного сырья и др.) предопределяют существенное накопление брома в компонентах природной среды изучаемой территории. Кроме того, свою роль играют потенциальные антропогенные источники его поступления: крупнейшее в мире предприятие ядерно-топливного цикла – Сибирский химический комбинат (СХК), а также крупнейший в России комбинат по нефтегазовой переработке – «Сибур» (ранее – Томский нефтехимический комбинат – ТНХК), способствующие формированию техногенной бромной биогеохимической субпровинции (Барановская, 2003).

Для территории Томской области, в сравнении с литературными данными, характерны значимо более высокие содержания брома в пресных водах и его накопление в наземных растениях в концентрациях выше 60 мг/кг и животных организмах – около 300 мг/кг. Для организма человека характерны также высокие содержания элемента, однако его концентрирование отмечается не в волосах, а, в большей степени, в крови, почках, аорте, щитовидной железе и других органах и тканях (рисунок 1).

При этом проанализированные нами продукты питания (18 наименований), употребляемые в пищу жителями Томской области, по содержанию брома не превышают его концентраций по литературным данным и не могут являться преимущественным фактором, влияющим на накопление элемента в организме человека.

В целом, детальное рассмотрение отдельных составляющих такой сложноорганизованной системы, каковой является живое вещество показало, что для него ярко выражена геохимическая неоднородность накопления брома, в отличие от биокосного и биогенного вещества (рисунок 2). Это проявляется как в диапазонах концентраций (от 18,3 мг/кг в микроорганизмах до 144 мг/кг в наземных животных), так и в коэффициентах вариации, изменяющихся от 120 до 474%, с максимальной

вариативностью в волосах детей. Это свидетельствует, в первую очередь, о том, что живые организмы способны концентрировать достаточно высокие содержания элемента и могут быть хорошими индикаторами происходящих в природе изменений, которые обуславливают поступление элемента из окружающей среды, как под влиянием природных факторов, так и в условиях антропогенной деятельности.

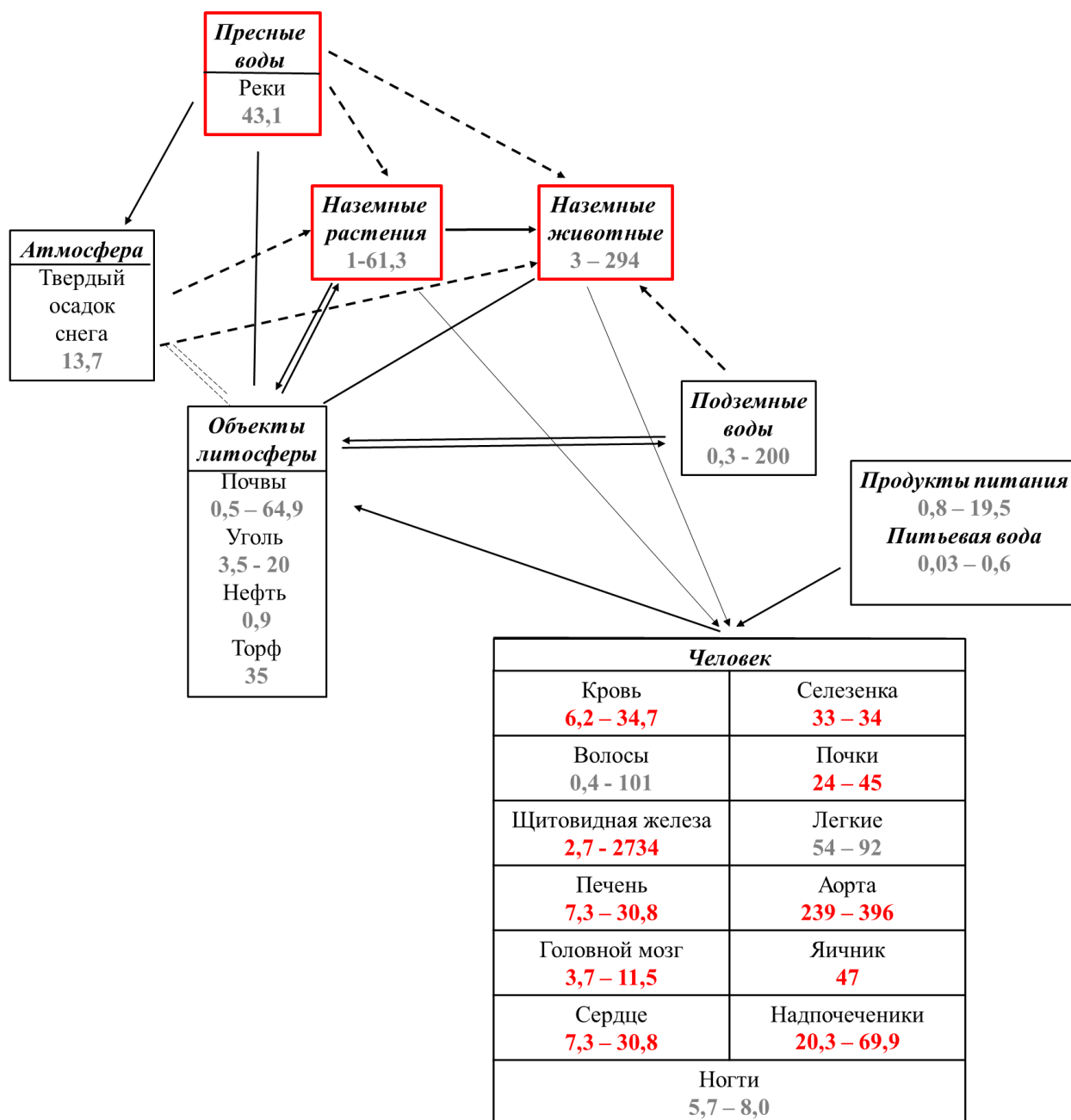


Рисунок 1 – Упрощенная схема распределения брома в окружающей среде Томской области в рамках круговорота элемента в природе, в мг/кг (для объектов гидросферы – в мг/л)

Примечание: пресные и подземные воды согласно данным Колубаевой, 2015; твердый осадок снега – Шатилов, 2001; торф – Межибор, 2009, нефть – Рихванов и др., 2015. Красным цветом выделены объекты исследования, концентрации брома в которых превышают литературные данные.

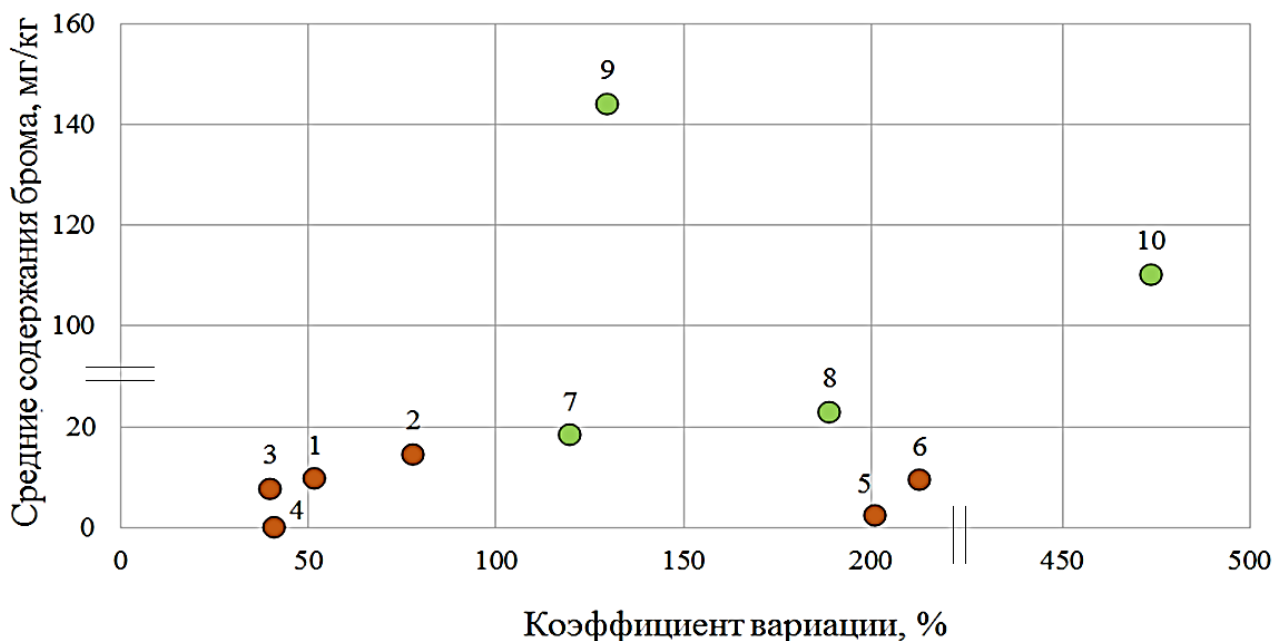


Рисунок 2 – Уровни накопления брома (средние содержания) в абиотических и биотических компонентах окружающей среды Томской области, мг/кг

Примечание: 1 – угли, 2 – почвы, 3 – донные отложения, 4 – питьевая вода (мг/л), 5 – накоп питьевых вод, 6 – твердый осадок снега (Шатилов, 2001), 7 – микроорганизмы минеральных источников, 8 – растительные организмы, 9 – животные организмы, 10 – организм человека; коричневым цветом выделены абиотические компоненты, зеленым – биотические.

Из рисунка 2 отчетливо видно, что содержания брома в углях, почвах, питьевых водах и донных отложениях области не превышают 20 мг/кг (мг/л для питьевых вод) при относительно низком коэффициенте вариации: для всех объектов он составляет не более 50%, а только для почв – 79%. На данный объект исследования стоит обратить отдельное внимание, так как он является одним из первых звеньев биогеохимической миграции химических элементов. Так, анализ статистических параметров (таблица 1) и пространственного распределения брома в почвах Томской области (рисунок 3) показывает, что минимальные содержания галогена отмечаются в почвах Томского района, а максимальные – в почвах Кожевниковского и Бакчарского районов. Стоит отметить, что в последнем повышенные уровни накопления элемента в почвах отмечаются во всех 18 изученных населенных пунктах. Данная особенность не находит отражения при изучении других объектов (накоп питьевых вод, волосы детей, кровь человека, патологически измененные ткани щитовидной железы).

Таблица 1 – Статистические параметры распределения содержаний брома в почвах районов Томской области, мг/кг

№	Район	N	X	λ	Min	Max	Mo	Me	V, %
3	Парабельский	6	14,8	1,7	9,0	22,1	–	14,5	29
4	Колпашевский	6	11,9	2,1	7,5	21,3	–	10,4	43
5	Чаинский	16	15,3	2,0	5,0	31,8	5,0	13,1	54
6	Молчановский	5	14,5	1,1	11,1	18,0	–	14,4	17
7	Кривошеинский	2	16,8	–	13,0	20,1	–	–	–

8	Шегарский	2	14,3	–	13,0	15,6	–	–	–
9	Кожевниковский	33	29,8	1,5	0,5	35,8	–	18,8	47
10	Томский	182	9,1	0,4	0,5	59,5	0,5	8,9	65
11	Асиновский	15	19,7	1,8	5,0	31,8	23,4	20,8	35
12	Первомайский	5	15,6	3,2	5,0	23,9	14,4	14,4	46
13	Верхнекетский	14	13,6	2,2	4,4	30,1	–	10,7	60
14	Тегульдетский	20	13,2	1,4	5,0	28,0	5,0	12,4	48
15	Зырянский	44	10,8	1,0	3,9	34,4	6,1	8,6	62
16	Бакчарский	39	40,3	1,9	15,2	64,9	–	41,3	29
	Томская область	389	14,5	0,6	0,5	64,9	0,5	11,1	79

Примечание: данные по Александровскому и Каргасокскому районам отсутствуют; $\bar{X}$ – среднее значение; λ – стандартная ошибка; Min и Max – минимальное и максимальное значения соответственно, Mo – мода, Me – медиана, V – коэффициент вариации, N – количество проб.

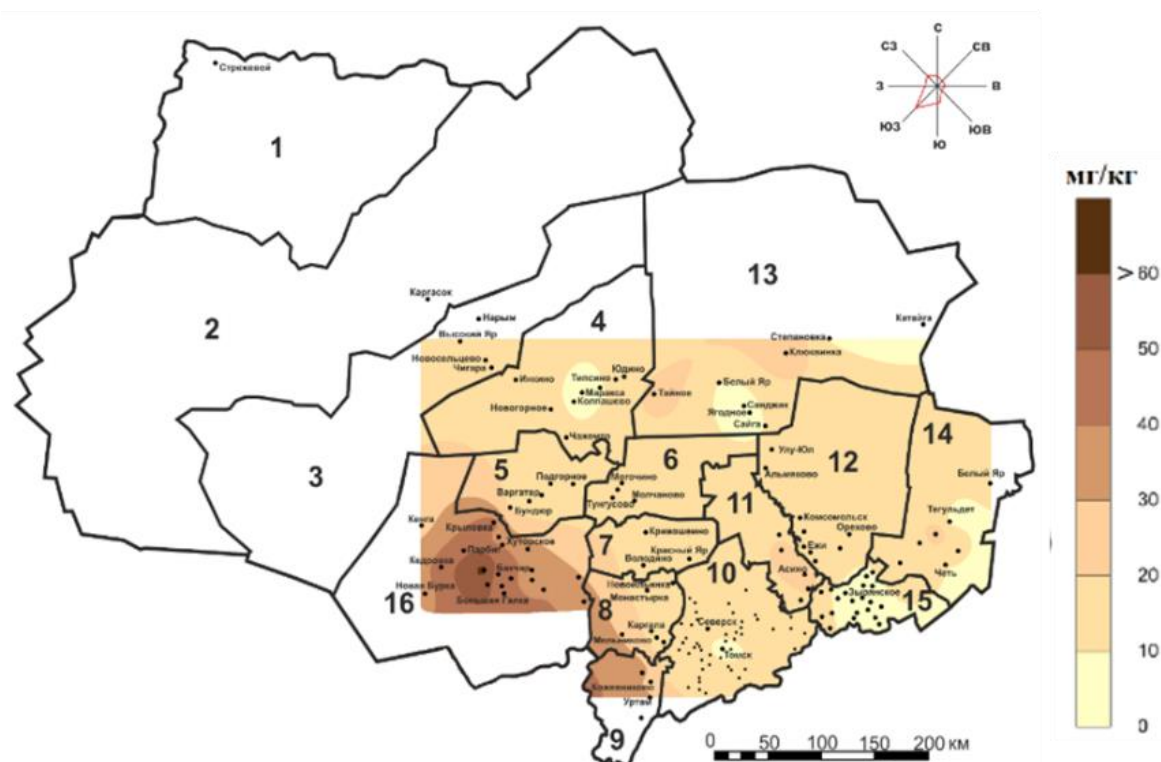


Рисунок 3 – Схематическая карта распределения брома (мг/кг) в почвах Томской области

Примечание (районы): 1-Александровский, 2 – Каргасокский; далее нумерация и соответствующий район представлены в таблице 1.

Анализ имеющегося литературного материала (Гавшин, 1984; Миронов, Жмодик, 1991; Бакиев, 2006; Белкин, 2017) позволяет предположить о возможном природном генезисе брома в почвах Кожевниковского и Бакчарского районов, обусловленном поступлением элемента в виде флюидов/в газовой форме с рассолами

из земных недр по проницаемым структурам. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. *Специфика накопления брома в компонентах природных сред зависит от характера и комплексности природно-техногенного воздействия и проявляется в ассоциативных взаимосвязях элемента, неравномерности его концентрирования во времени, а также снижении содержания по мере удаления от зоны техногенного воздействия.*

Поскольку бром является специфичным элементом нефтехимической промышленности (Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Барановская, 2011 и др.), нами были изучены природные среды и биоматериалы, отобранные в районах расположения данного типа предприятий. Как показывают результаты наших исследований, особенности накопления брома в природных средах и биоматериалах, а также их геохимическая специфика, в целом, значительно различаются на территории с присутствием единственного нефтеперерабатывающего комбината (регион Гранд-Эст, Франция) от территории с комплексным природно – техногенным воздействием, к каковой относится зона Томск – Северской промышленной агломерации (СПУ). В последней помимо расположения крупнейшего в России нефтехимического комбината, также находится и ряд других разнопрофильных промышленных предприятий (Экология ..., 1994).

Анализ полученной информации показывает, что бром специфично и локально концентрируется в объектах исследования изученных территорий (таблица 2 – 4).

Таблица 2 – Геохимический ряд химических элементов в питьевых водах в районах расположения нефтеперерабатывающих комплексов

Территория		Геохимический ряд химических элементов
Населенные пункты Томского района	Самусь	(Rb,In) _{1,8} Ba _{1,6} Sc _{1,4} (Na Cu) _{1,3} (Si,K,Sr) _{1,1}
	Наумовка	Mn _{3,7} B ₃ Pb _{2,6} Co _{2,4} Fe _{2,1} (Cu Zn) _{1,8} Cr _{1,2} (Ca Sc, Rb,Sb) _{1,1}
	Кузовлево	Sb _{1,5} Br _{1,4} Cu _{1,3} (Ca Zn) _{1,2} (Mg I) _{1,1}
	Зональная станция	Sb _{1,5} Co _{1,4} (Ca,Li,Ba) _{1,3} (Si,Sr) _{1,2} (B,Na,Mg,Cr) _{1,1}
	Копылово	U _{4,8} Mo _{3,7} Li _{2,3} K _{1,8} (Ti,Cs) _{1,7} Br _{1,4}
Франция	Регион Гранд - Эст	Al _{3,2} I _{2,6} Br _{2,3} B _{1,7} V _{1,5} (Be,U) _{1,4} (Na,Ti) _{1,3} Ce _{1,2} Fe _{1,1}

Примечание: здесь и далее в таблицах 3,4 коэффициенты концентрации рассчитывались относительно среднего по выборке.

Так, из таблицы 2 видно, что на территории Томского района в зоне влияния комбината по нефтепереработке «Сибур» бром встречается в питьевых водах населенных пунктов Кузовлево и Копылово. Первый из них находится в непосредственной близости к основным производствам, а второй является узловой станцией по транспортировке нефтепродуктов.

Комплексный характер территории, подверженной воздействию предприятий Томск – Северской промышленной агломерации отражается в весьма широком спектре элементов, концентрирующихся в составе листьев тополей (таблица 3). Населенный пункт Копылово характеризуется максимальным спектром элементов, накапливающихся выше среднего по выборке в листьях тополя, с коэффициентом концентрации брома равным 0,2. В целом, бром не относится к элементам, характерным для листвы деревьев данной территории, в то время как на территории

Франции, в районе предприятия нефтепереработки, его концентрации достаточно велики и в 5 раз превышают среднее значение по выборке.

Таблица 3 – Геохимический ряд химических элементов в листьях тополей в районах расположения нефтеперерабатывающих комплексов

Территория		Геохимический ряд химических элементов
Населенные пункты Томского района	Самусь	$\text{Sn}_5\text{Hg}_{1,8}(\text{B}, \text{Na}, \text{K})_{1,5}(\text{Ge}, \text{Sr}, \text{Au}, \text{Pb})_{1,4}(\text{Ba}, \text{W})_{1,3}(\text{Mg}, \text{Co}, \text{Si}, \text{Sb})_{1,2}$
	Наумовка	$\text{Be}_3(\text{Ni}, \text{Rb}, \text{Cd})_2\text{Zn}_{1,7}\text{Ag}_{1,6}(\text{Sm}, \text{Eu})_{1,5}(\text{Dy}, \text{Pr}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Br})_{1,4}(\text{Cu}, \text{As}, \text{Y})_{1,3}(\text{Mn}, \text{Er}, \text{La}, \text{Ho}, \text{Nd}, \text{Yb})_{1,2}(\text{Ca}, \text{Cr}, \text{Co}, \text{Se}, \text{Cs}, \text{Ba}, \text{Lu}, \text{Hg})_{1,1}$
	Кузовлево	$(\text{Ce}, \text{Tl})_{1,7}\text{Be}_{1,6}(\text{Cd}, \text{Ge})_{1,5}\text{Tm}_{1,4}(\text{Eu}, \text{Gd}, \text{Y}, \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Ho}, \text{Er})_{1,3}(\text{Mg}, \text{Sc}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Ba}, \text{Dy})_{1,2}(\text{P}, \text{Ca}, \text{Mn}, \text{Sr}, \text{Sm}, \text{Yb})_{1,2}$
	Зональная станция	$\text{Se}_{2,2}\text{Br}_{1,9}\text{V}_{1,6}(\text{Ti}, \text{Sb}, \text{Bi})_{1,5}\text{W}_{1,4}(\text{Li}, \text{Zr}, \text{Pt}, \text{Th})_{1,3}(\text{Cr}, \text{Nb}, \text{U})_{1,2}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ga}, \text{As}, \text{Pb})_{1,1}$
	Копылово	$\text{I}_4\text{Ta}_{3,2}\text{Mo}_{2,9}\text{Au}_{2,6}(\text{Al}, \text{Th})_{2,2}(\text{Li}, \text{Hf})_{2,1}(\text{Nb}, \text{V}, \text{Li}, \text{U})_{1,9}(\text{Cs}, \text{Ti})_{1,8}(\text{Ga}, \text{Zr})_{1,7}(\text{Sc}, \text{Lu})_{1,5}\text{Na}_{1,4}(\text{P}, \text{Fe}, \text{Ce}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}, \text{Er}, \text{Hg}, \text{Pt}, \text{Pb})_{1,2}(\text{Cr}, \text{Nd}, \text{Ho}, \text{Tm}, \text{Gd}, \text{As})_{1,1}$
Франция	Регион Гранд - Эст	$\text{Br}_{22}\text{Na}_{19,7}\text{Zr}_{14,8}\text{Au}_6\text{Se}_5\text{Sb}_4\text{I}_{3,5}\text{Ta}_{3,2}\text{V}_{2,4}\text{U}_{2,3}(\text{Nb}, \text{Hf})_2(\text{Si}, \text{Ca})_{1,9}(\text{Ti}, \text{P})_{1,6}\text{Fe}_{1,4}(\text{As}, \text{Ag}, \text{Tl})_{1,3}(\text{K}, \text{Zn}, \text{Pb})_{1,1}$

В почвах бром не накапливается в значительных количествах в зонах с интенсивным техногенезом. Так, для населенных пунктов Томского района, коэффициенты концентрации брома, превышающие 1, отмечаются только в пос. Зональная Станция (таблица 4), в котором наряду с н.п. Наумовка фиксируется максимальный спектр химических элементов, а для почв территории Франции коэффициент концентрации брома составляет 1,2. При этом для обеих территорий характерно наличие широко спектра химических элементов, превышающих условно фоновые показатели.

Таблица 4 – Геохимический ряд химических элементов в почвах в районах расположения нефтеперерабатывающих комплексов

Территория		Геохимический ряд химических элементов
Населенные пункты Томского района	Самусь	$\text{Ru}_{1,8}(\text{Ca}, \text{Si})_{1,2}(\text{Se}, \text{Pb})_{1,1}$
	Наумовка	$(\text{Cs}, \text{Li}, \text{V})_{1,5}(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Ni}, \text{As})_{1,4}(\text{Mg}, \text{I}, \text{Y}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}, \text{W}, \text{Tl}, \text{Bi}, \text{Th}, \text{U})_{1,3}(\text{Al}, \text{Co}, \text{Cu}, \text{Ga}, \text{Rb}, \text{Zr}, \text{Nb}, \text{Mo}, \text{La}, \text{Hf}, \text{Ta})_{1,2}(\text{Ti}, \text{Sn}, \text{Ba})_{1,1}$
	Зональная станция	$\text{Br}_{1,9}(\text{Na}, \text{I})_{1,4}\text{Se}_{1,3}(\text{Mg}, \text{Ti}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Nb}, \text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Dy}, \text{Er}, \text{Yb}, \text{Ta}, \text{Th})_{1,2}(\text{Al}, \text{V}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Ga}, \text{Sr}, \text{Y}, \text{Zr}, \text{Sn}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Ho}, \text{Lu}, \text{Hf}, \text{W})_{1,1}(\text{B}, \text{Na}, \text{Mg}, \text{Cr})_{1,1}$
	Копылово	$(\text{Zn}, \text{P})_2\text{Ag}_{1,9}(\text{Mn}, \text{Sb})_{1,4}(\text{Ca}, \text{Cu}, \text{Sn})_{1,3}\text{Sr}_{1,2}(\text{Ti}, \text{Ge}, \text{Se}, \text{Nb}, \text{Mo}, \text{Ta})_{1,1}$
Франция	Регион Гранд - Эст	$\text{W}_{5,7}\text{I}_2\text{Hf}_{1,8}(\text{Ni}, \text{Zr})_{1,7}(\text{Sn}, \text{La}, \text{Th})_{1,5}(\text{Ce}, \text{Pb}, \text{U})_{1,4}(\text{Ca}, \text{As}, \text{Se}, \text{Nb}, \text{Ag}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Ta}, \text{Tl})_{1,3}(\text{Cs}, \text{Br})_{1,2}(\text{Li}, \text{Si}, \text{Ti}, \text{Rb}, \text{Y}, \text{Gd}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu})_{1,1}$

Таким образом, можно заключить, что отмечается разнохарактерность накопления брома и его неоднозначное поведение в природных средах и биоматериалах при различных природно – техногенных условиях. На территориях с комплексным природно – техногенным воздействием отмечается неоднородность

аккумуляции галогена, что может быть вызвано компенсаторным поведением изучаемых сред, накапливающих значительные количества разнообразных химических элементов, в том числе тех, которые вытесняют бром в геохимических рядах.

Комплексный природно – техногенный характер Томск – Северской промышленной агломерации ярко отражается при изучении индикаторных показателей отношения брома с другими химическими элементами. Так как сурьма, подобно бром, является специфичным элементом нефтехимической промышленности (Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Барановская, 2011 и др.), нами были рассмотрены отношения Br/Sb в природных средах и биоматериалах в районах расположения нефтеперерабатывающих комплексов (рисунок 4).

Очень четко фиксируются различия по данному отношению при изучении листьев тополя, где населенные пункты Томского района обособляются в группу при изменении отношения от 254 до 3588, в то время как для территории Франции он составляет 7000. Кроме того, отношения Na/Br, Br/Pb, Br/U, Br/I в природных средах демонстрируют неоднозначность полученных показателей для разных сред населенных пунктов Томск – Северской промышленной агломерации, которые, в значительной степени, отличаются от таковых на территории с моно производством.

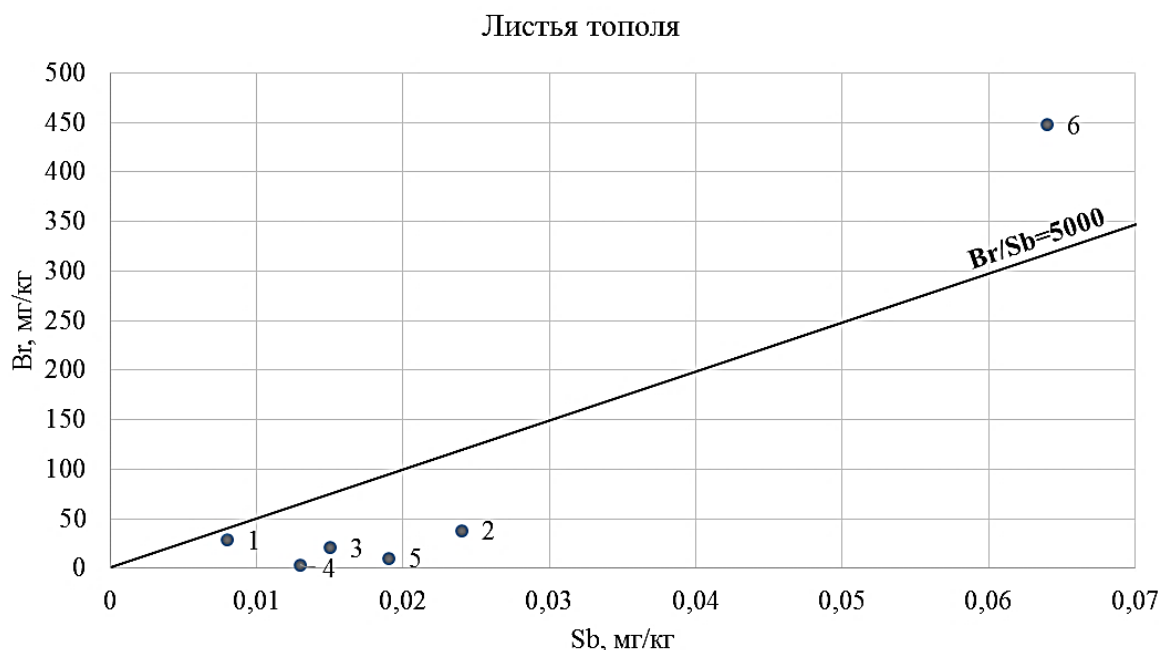
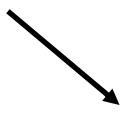


Рисунок 4 – Отношения Br/Sb в листьях тополя в районах расположения нефтеперерабатывающих комплексов

Примечание: 1 – Наумовка, 2 – Зональная станция, 3 – Копылово, 4 – Кузовлево, 5 – Самусь, 6 – Франция

На обеих территориях, в независимости от степени природно-техногенной нагрузки, отмечаются тенденции снижения концентраций брома в природных средах и биоматериалах по мере удаления от зоны техногенного воздействия, при наличии специфичных значимых геохимических ассоциаций элемента для каждой среды.

Таблица 5 – Тенденции накопления брома по мере удаления от зоны СПУ и геохимические ассоциации брома с химическими элементами в изучаемых объектах исследования

Объект исследования	Тенденция накопления Br по мере удаления от зоны СПУ (< 30 км – > 30 км)	Значимые геохимические ассоциации брома
Накипь питьевых вод		Eu (0,85), La (0,87) при уровне значимости 0,21
Волосы детей		La (0,62), Ag (0,27), Co (0,15) при уровне значимости 0,13
Кровь человека		Hf (0,74), Th (0,71), Ce (0,88), La (0,74) при уровне значимости 0,16
Щитовидная железа (патологически измененные ткани)		Ce (0,41) при уровне значимости 0,34
Органы и ткани свиньи домашней (<i>Sus scrofa domestica</i> Linnaeus 1758)		U (0,59), Na (0,81) при уровне значимости 0,32

Как показывает рисунок 5, для брома характерно неравномерное накопление, что может быть обусловлено разной интенсивностью выбросов элемента в окружающую среду. При этом отмечаются тенденция резкого снижения концентраций элемента по населенным пунктам Томск – Северской промышленной агломерации в 2014 году. Это может быть связано с фактом остановки ректоров на Сибирском химическом комбинате, являющимся потенциальным источником выбросов брома в окружающую среду (Барановская, Рихванов, 2002; Барановская, 2003) и изменением характера производства на данном предприятии, а также интенсивностью производства на нефтехимическом комбинате «Сибур».

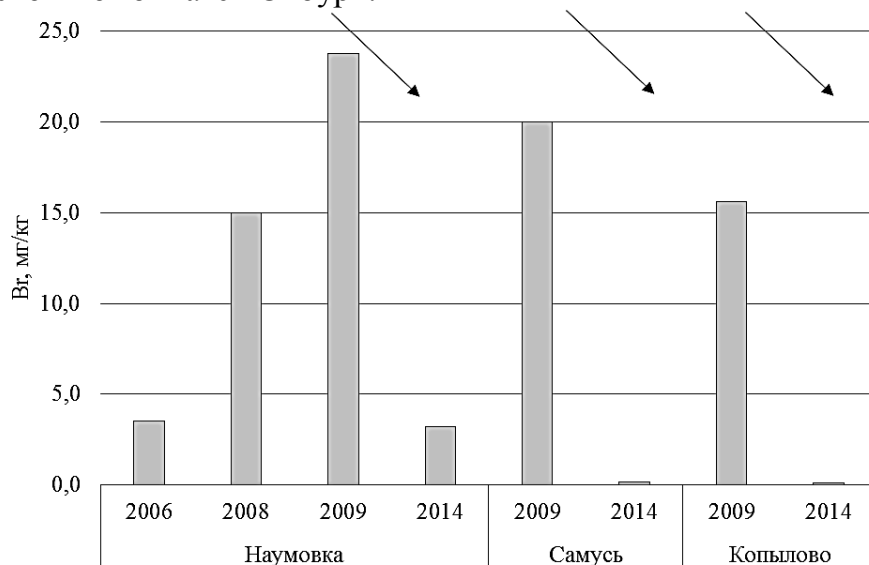


Рисунок 5 – Изменение содержаний брома в волосах детей, проживающих в населенных пунктах Томск – Северской промышленной агломерации, мг/кг

Таким образом, наблюдается значительная дифференциация в накоплении брома в зоне Томск – Северской промышленной агломерации по сравнению с литературными данными и общими данными по Томской области. Содержания брома в волосах жителей, проживающих в зоне влияния СПУ, более чем в 9 раз выше содержаний элемента, отмечаемых в целом по Томской области, и в 12,5 раз выше в крови жителей. Содержания брома в патологически измененных тканях щитовидной железы жителей Томского района характеризуются намного более высокими концентрациями элемента, чем данные литературных источников: они превышают эти показатели в 62 раза. Содержания брома в органах и тканях наземных животных зоны СПУ в 4 раза превышают его концентрации, характерные для Томской области, а для наземных растений – в 4,5 раза. Кроме того, повышенные уровни накопления элемента отмечаются также и для пресных вод района в сравнении с данными по фоновым территориям.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. По результатам впервые рассчитанного характеристического коэффициента токсичности брома установлено, что элемент является более токсичным для экосистем, чем для человека. Ранжирование административных районов Томской области по степени токсического воздействия брома, с учетом ее ландшафтно-географических характеристик, показывает, что наибольшая опасность, обусловленная содержанием брома в почвах, характерна для здоровья жителей Бакчарского района области и для пресноводных экосистем Томского района, при минимальном вкладе брома в общий показатель токсичности.

Согласно экологической модели USEtox, расчет показателя токсического воздействия химических элементов, в нашем случае брома, на экосистемы и здоровье человека рассчитывается согласно формуле (1.1):

$$IS = \sum CF_i * M_i \quad (1.1),$$

где: IS – общий показатель токсического воздействия брома на экосистемы и здоровье человека (для здоровья человека измеряется в STU_{hum} – относительная единица токсичности для здоровья человека; для экосистем – в STU_{eco} – относительная единица токсичности для экосистем); CF – характеристический коэффициент токсичности брома в компоненте природной среды i (для здоровья человека измеряется в $дали/кг_{Bг}$, для экосистем – в $потенциально\ исчезнувшей\ части\ особей * м^3 * день / кг_{Bг}$); M – масса брома в компоненте природной среды i (в кг).

Примечание: к аналогам потенциально исчезнувшей части особей можно отнести следующий показатель, применяемый в России: изменение численности сапрофитных бактерий, почвенных грибов, актиномицетов и т.д. – СП 2.1.7.1386-03; дали – общее количество лет, потерянное из-за преждевременной смертности и количество лет, прожитых с инвалидностью, также определяется как количество потерянных лет здоровой жизни (Социально–экономические..., 2006).

При этом характеристический коэффициент токсичности, в свою очередь, основан на трех факторах (формула 1.2):

$$CF = FF \times XF \times EF \quad (1.2),$$

где: FF – fate factor, или фактор «судьбы», определяющий поведение брома в окружающей среде (например, деградация в воздухе) и основанный, преимущественно, на его физико–химических свойствах. Он является одинаковым при расчете токсичности для экосистем и здоровья человека, измеряется в $кг_{Bг}$ в $окруж.среде / кг_{Bг}$ выделенного в $окруж.среду / день$; XF – exposure factor, или фактор экспозиции, оценивает

контакт между человеком/экосистемами (рецепторы) и окружающей средой на основе доли брома, которую получает рецептор за определенный промежуток времени (например, день). При расчете токсичности для человека данный фактор учитывает поступление элемента через воздух, воду, почву и некоторые продукты питания (измеряется в $\text{кг}_{\text{потребленного Вг в день}}/\text{кг}_{\text{Вг в окруж. среде}}$). Что касается экосистем, данный фактор применим только к пресноводным организмам и измеряется в доле брома, растворимого в воде; EF – effect factor, или фактор эффекта/результата, отражает воздействие на здоровье человека и состояние экосистем, обусловленное поступлением галогена в живой организм разными способами (через воздух, воду, почву или продукты питания). Основывается на данных токсикологических исследований, полученных в опытах на экспериментальных животных и экстраполированных на человека, и на данных токсикологических исследований, полученных в опытах на дафниях *Daphnia magna* – для экосистем. Для человека измеряется в случае заболевания/ $\text{кг}_{\text{потребленного Вг}}$, для экосистем – в потенциально исчезнувшей части особей* м^3 *день/ $\text{кг}_{\text{Вг}}$.

Вычисленные автором характеристические коэффициенты токсичности брома для человека и экосистем представлены на рисунках 6 и 7, соответственно. Как видно из представленных рисунков, характеристические коэффициенты токсичности являются неодинаковыми в различных компонентах природной среды. Полученные результаты позволили заключить, что вклад брома в токсическое воздействие на экосистемы является более высоким, чем на здоровье человека. Наибольшую опасность для экосистем элемент представляет в пресной воде, а наименьшую в воздухе, при этом воздействие одинаково в почвах независимо от их типа. В противоположность токсичности брома для экосистем, наибольшую опасность для человека элемент представляет в почвах, используемых в сельскохозяйственных целях. Токсическое воздействие на здоровье человека элемент может также оказывать и при ингаляционном его поступлении. Бром в природных почвах и морской воде оказывает наименьшее воздействие на здоровье человека среди всех изученных компонентов природной среды.

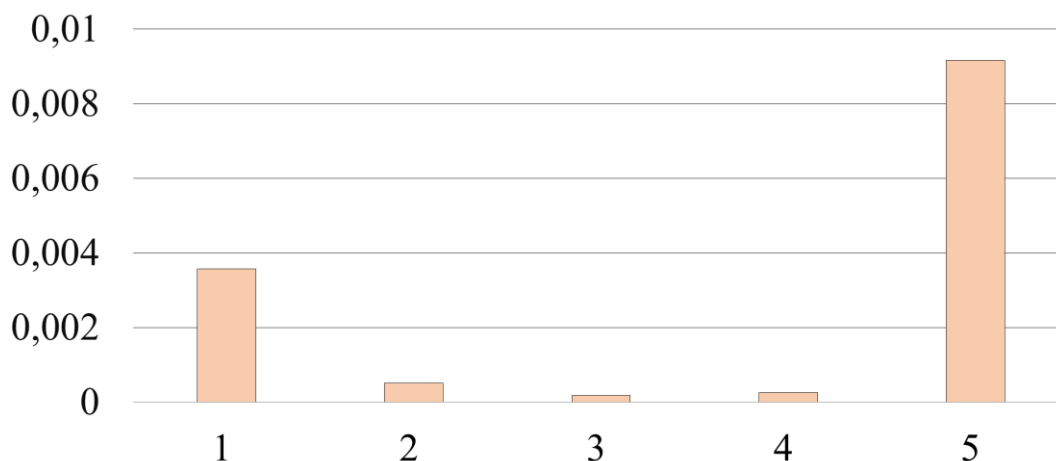


Рисунок 6 – Характеристические коэффициенты токсичности брома для человека, $\text{дали}/\text{кг}_{\text{Вг}}$

Примечание: здесь и на рисунке 7: 1 – воздух, 2 - пресная вода, 3 - морская вода, 4 - природные почвы, 5 - сельскохозяйственные почвы

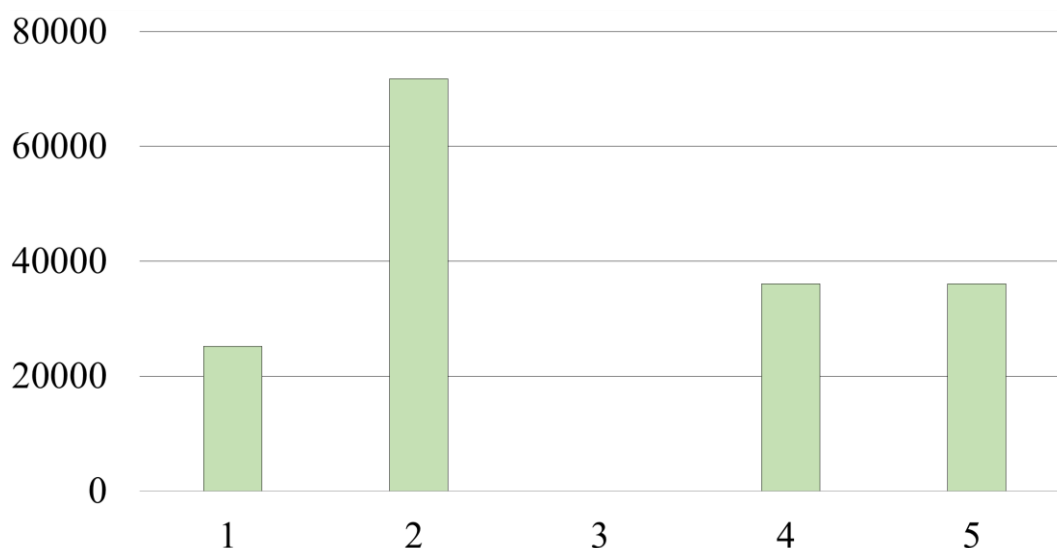


Рисунок 7 – Характеристические коэффициенты токсичности брома для экосистем, потенциально исчезнувшая часть особей* $\text{м}^3 \cdot \text{день} / \text{кг Br}$

В целом можно заключить, что полученные в рамках моделирования результаты не противоречат литературной информации. Так, согласно моделированию, в морской воде для экосистем элемент практически не представляет опасности, что, на наш взгляд, является логичным, так как морские организмы способны накапливать повышенные концентрации брома без каких-либо эффектов. То же самое можно заключить исходя из результатов по токсичности брома для здоровья человека: высокое токсическое воздействие, связанное с сельскохозяйственными почвами, может быть связано с применением различного рода фумигантов, а воздействие, обусловленное поступлением брома ингаляционным путем, широко известно и находит отражение в нормативных документах.

На примере почв Томской области нами наглядно показано возможное использование модели с целью определения токсического воздействия для экосистем и здоровья человека, а также ранжирования районов области по степени опасности. Результаты количественного определения брома в почвах Томской области методом ИНАА наряду с рассчитанными автором характеристическими коэффициентами токсичности брома для экосистем и человека, в пределах Томской области, послужили основой расчетов общего показателя токсического воздействия (см. формулу 1.1). Результаты общего показателя токсичности брома представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Общий показатель токсичности брома для человека и экосистем в Томской области

Район	Общий показатель токсичности	
	для здоровья человека, CTU_{hum}	для экосистем, CTU_{eco}
Парабельский	74.53	9.3×10^5
Колпашевский	59.93	7.5×10^5
Чаинский	77.05	9.6×10^5
Молчановский	73.02	9.1×10^5
Кривошеинский	84.61	1.1×10^6
Шегарский	72.02	9.0×10^5
Кожевниковский	91.15	1.1×10^6

Продолжение таблицы 6

Томский	41.01	1.2×10^7
Асиновский	99.21	1.2×10^6
Первомайский	78.56	9.8×10^5
Верхнекетский	68.49	8.5×10^5
Тегульдетский	66.48	8.3×10^5
Зырянский	54.39	6.8×10^5
Бакчарский	198.42	2.5×10^6
Томская область	73.53	9.1×10^5

Примечание: STU_{eco} – относительная единица токсичности для экосистем; STU_{hum} – относительная единица токсичности для здоровья человека

Установлено, что минимальное токсическое воздействие брома на здоровье человека, обусловленное содержанием элемента в почвах, наблюдается в Колпашевском, Зырянском и Томском районах (таблица 6). Это обусловлено, в первую очередь, низкими концентрациями галогена в почвах. Повышенная его опасность для здоровья людей отмечается в Кожевниковском и Асиновском районах, а самая высокая – в Бакчарском районе области, где отмечаются максимальные уровни накопления брома в почве. При сопоставлении результатов с 5 другими химическими элементами (Cr, As, Ag, Sb, Ba), доступными в базе модели, было выявлено, что наибольший вклад в токсическое воздействие на здоровье человека вносит не бром, а преимущественно, хром, мышьяк и другие элементы, при этом вклад брома в общую токсичность для человека в пределах различных районов области варьирует от 0,5% до 21,6%.

Токсическое воздействие брома на экосистемы значительно отличается от его воздействия на здоровье человека. Минимальное воздействие для экосистем, обусловленное содержанием элемента в почвах, отмечается в ряде районов области: Парабельском, Колпашевском, Молчановском, Шегарском, Верхнекетском, Тегульдетском и Зырянском. В Бакчарском районе области, где отмечается максимальное воздействие на здоровье человека, воздействие на экосистемы не является наибольшим. Кроме того, абсолютно противоположная картина характерна для Томского района области, в котором токсическое воздействие на здоровье человека является минимальным, а на экосистемы – максимальным. При сопоставлении результатов с 9 другими химическими элементами (Cr, Co, As, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, Fe), было выявлено, что наибольший вклад в токсическое воздействие на экосистемы вносит не бром, а железо, при этом вклад брома в общую экотоксичность составляет от 1,9% до 8,6%.

Анализ данных по заболеваемости (общая и младенческая смертность, смертность от злокачественных новообразований, заболеваемость язвой желудка и двенадцатиперстной кишки, гастритом и дуоденитом, инсулиннезависимым и инсулинзависимым сахарным диабетом и др.) населения Томской области (по данным «О состоянии санитарно-эпидемиологического ...», 2006 – 2015) показал, что прямые взаимосвязи между токсическим воздействием брома, обусловленным содержанием элемента в почвах, и показателями здоровья достоверно не устанавливаются.

Заключение

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- Установлено количественное содержание элемента в различных компонентах природной среды на территории Томской области и осуществлен сопоставительный анализ полученных результатов с данными по другим регионам России и зарубежья, а также литературными показателями;
- Дан анализ пространственного распределения брома на исследуемой территории с обозначением локальных участков, характеризующихся повышенными содержаниями элемента, обусловленными природно – техногенными факторами;
- Выполнено ранжирование территории Томской области в соответствии с минимально – максимальным концентрированием элемента в компонентах природной среды;
- Установлены индикаторные показатели отношений брома с другими химическими элементами в районах расположения промышленных предприятий;
- Сделаны расчеты характеристических коэффициентов токсичности брома для компонентов природной среды в целях последующего их введения и использования в модели USEtox;
- Оценено токсическое воздействие брома для экосистем и человека на примере почв Томской области, с учетом ее ландшафтно-географических характеристик, и проведено сопоставление с данными по заболеваемости населения Томской области;
- Проведено ранжирование территории региона по степени токсической опасности брома для экосистем и здоровья населения.

Список основных публикаций по теме диссертации

Публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК

1. **Перминова, Т.А.** Биогеохимические особенности накопления брома в организме человека (на примере жителей Томской области) / Н.В. Барановская, Т.А. Перминова, Б. Ларатт и др. // Вестник ОмГАУ. – 2016. – №3 (23). – С.155–165.
2. **Перминова, Т.А.** Бром в почвах Томской области / Т.А. Перминова, Н.В. Барановская, Б. Ларатт и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т.328. – № 2. – С. 36–45.

Публикации в зарубежных журналах, индексируемых базой данных Scopus

3. **Perminova, T.** Methods for land use impact assessment: a review / T. Perminova, N. Sirina, B. Laratte et al. // Environmental Impact Assessment Review. – 2016. – V. 60. – P. 64–74.

Статьи, материалы конференций

4. **Перминова, Т.А.** Исследование геохимических показателей экосистем горячих источников / Т.А. Перминова, Е.В. Денисова // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, Томск: Изд-во ТПУ. – 2012 г.: в 2 т. – Том 1. – С. 593-594.
5. **Перминова, Т.А.** Геохимические особенности экосистем минеральных источников Байкальской рифтовой зоны / Т.А. Перминова // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, Томск: Изд-во ТПУ. – 2013 г.: в 2 т. – Том 1. – С. 589-590.

6. **Perminova, T.** Bromine distribution in human organisms / T.Perminova; scientific advisors N. V. Baranovskaya, I. A. Matveenکو, B. Laratte // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 6-10 апреля 2015 г.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Том 2. – С. 819–820.
7. **Перминова, Т. А.** Бром в природных объектах в условиях техногенеза / Т. А. Перминова, Н. В. Барановская, Б. Ларатт // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: Материалы IX Международной биогеохимической школы, Барнаул, 24-28 августа, 2015 г.: в 2 т. – Том I. – Барнаул: Пять плюс, 2015. – С. 142-147.
8. **Perminova, T.** Merging Risk Assessment and Human Toxicity in Petrochemical Manufacturing / T. Perminova, B. Laratte, N. Baranovskaya // EcoDesign International Symposium 2015: Proceedings, Tokyo, Japan, December 2–4, 2015. – P. 877–879. – flash-card [electronic resources].
9. **Перминова, Т. А.** Индикаторные показатели отношения естественных радиоактивных элементов (U, Th) и Br в напипи питьевых вод на территории Томской области / Т. А. Перминова, Н.В. Барановская, Б. Ларатт и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы V Международной конференции, 13-16 сентября 2016 г., г. Томск. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 517-521.
10. **Перминова, Т. А.** Специфика накопления брома в организме человека / Т. А. Перминова; науч. рук. Н. В. Барановская // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 4-8 апреля 2016 г.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Том 2. – С. 214-215.
11. **Перминова, Т. А.** Химические элементы в почвах Томской области, и оценка их токсического воздействия на экосистемы / Т. А. Перминова; науч. рук. Н. В. Барановская // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 3-7 апреля 2017 г (в печати).