

На правах рукописи



Соктоев Булат Ринчинович

**ГЕОХИМИЯ КАРБОНАТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПРИРОДНЫХ
ПРЕСНЫХ ВОД И ЕЕ ИНДИКАТОРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ В ЭКОЛОГО-
ГЕОХИМИЧЕСКИХ И ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА)**

**Специальность 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2015

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

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Рихванов Леонид Петрович

Официальные оппоненты:

Гребенщикова Валентина Ивановна, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской Академии наук (ИГХ СО РАН, г. Иркутск), главный научный сотрудник

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

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт минералогии Уральского отделения Российской Академии наук (г. Миасс)

Защита диссертации состоится «25» декабря 2015 года в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета ДМ 212.269.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, 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/2799/worklist>

Автореферат разослан «___» _____ 2015 года

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



Лепокурова Олеся Евгеньевна

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Вода играет чрезвычайно важную роль в организме человека, являясь одним из основных путей поступления химических элементов в организм. Поэтому изучение ее химического состава – это одна из приоритетных задач, которая решается при эколого-геохимических исследованиях. Качество используемых для питьевого снабжения вод строго регламентируется нормативными документами (СанПиН 2.1.4.1074-01, СанПиН 2.1.4.1175-02, ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2280-07, ГН 2.1.5.2307-07 и др.).

Химический состав воды определяется комплексом факторов как природного, так и антропогенного характера. В числе основных природных факторов формирования химического состава воды – это состав вмещающих пород водоносных комплексов, процессы взаимодействия в системе «вода-порода» (Шварцев, 1996 и др.). В элементном составе воды отражаются как специфика геохимической специализации геологических комплексов, так и техногенное воздействие от функционирующих комплексов природно-техногенных систем. Информативность геохимических показателей воды позволяет использовать их при разработке геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых (Сауков, 1976; Барсуков и др., 1981; Соловов, 1985; Справочник ..., 1990 и др.) и оценке экологического состояния объектов гидросферы в условиях антропогенной нагрузки (Сапрыкин, 1989; Сагет и др., 1990; Иванов, 1994-1997 и др.).

Общеизвестно, что природные воды, используемые для питьевого водоснабжения населения, являются пресными, слабокислыми, гидрокарбонатными кальциево-магниевыми (Кириухин и др., 1989, 1993; Крайнов, Швец, 1987, 1992; Геологическая эволюция ..., 2005 и др.). С преобладанием в химическом составе воды карбонатной составляющей, представленной HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , связан один из наиболее важных санитарно-гигиенических нормативов воды – жесткость. Данный параметр, в свою очередь, обуславливает такой физико-химический процесс, как накипеобразование, который характерен для вод с высоким показателем жесткости. Образующиеся солевые образования как в природных, так и в технических условиях, в том числе в бытовой теплообменной аппаратуре, в которой производится кипячение воды, состоят преимущественно из кальцита, арагонита, доломита и ряда других минералов. На их долю приходится до 99,0-99,9 % вещественного состава подобных образований (Лепокурова, 2005; Шварцев и др., 2007; Pentecost, 2005; Cowan, Weintritt, 1976; Минеральные ..., 2002 и др.). Накипеобразование является негативным фактором в системах питьевого водоснабжения на разных этапах подготовки, очистки и транспортировки воды (Cowan, Weintritt, 1976; Лапотышкина, Сазонов, 1982; Вологодина, 2001; Минеральные ..., 2002; Присяжнюк, 2003 и др.).

Природным аналогом накипи могут являться травертины – преимущественно карбонатные образования, формирующиеся при разгрузке природных вод в тех или иных геологических обстановках (Лепокурова, 2005; Шварцев и др., 2007; Pentecost, 2005 и др.). Подобного рода образования как природного, так и техногенного происхождения можно рассматривать как

пример специфического геохимического сорбционного барьера (Крайнов, Швец, 1987), при котором происходит осаждение не только двухвалентных элементов, но и многих других вследствие малой величины показателя произведения растворимости. Учитывая, что одной из основных форм нахождения многих химических элементов в низкоминерализованных водах, используемых для питьевого водоснабжения, являются карбонатные комплексы, образующиеся при кипячении солевые отложения (накипь), с большой долей вероятности, наследуют гидрогеохимические особенности воды. Это обусловлено процессами изоморфного замещения (Mg, Fe, Zn, Sr и др.), сорбции на поверхности образующихся карбонатных минералов. Тем самым, эти процессы определяют геохимическую специфику формирующихся карбонатных образований (Карбонаты ..., 1987). Для гидротермального карбонатообразования это достаточно хорошо известно (Наумов, 1959; Рихванов и др., 1986₁, 1986₂ и др.), что положено в основу различных вариантов методов поисков месторождений полезных ископаемых по гидротермальным карбонатным минералам (Голева, Смирнова, 1982; Язиков, Рихванов, 1982; Рихванов, Пшеничкин, 1985). Поэтому, по нашему мнению, формирующиеся солевые отложения в бытовой теплообменной аппаратуре, вероятнее всего, обладают такой же информативностью, что и определило цель наших исследований.

Исследования показывают (Эколого-геохимические ..., 2006; Язиков и др., 2004, 2009; Таркхаева et al., 2010; Монголина и др., 2011; Соктоев и др., 2014₂), что солевые отложения (накипь), формирующиеся в бытовых условиях при кипячении воды, характеризуют качество вод на протяжении длительного времени, поскольку имеют значительное время формирования (до нескольких месяцев и лет). Кроме этого, результаты изучения накипи в Горном Алтае (Робертус и др., 2014) показывают, что ее элементный состав коррелирует с составом водовмещающих пород, что соответствует современной теории геологической эволюции системы «вода-порода» (Геологическая эволюция ..., 2005, 2007; Шварцев, 2008). Данное обстоятельство, на наш взгляд, может быть использовано для выявления природных геохимических аномалий, обусловленных геохимически специализированными комплексами горных пород, рудопроявлениями и месторождениями.

Актуальность работы также определяется малой изученностью объекта с точки зрения элементного состава как для целей экогеохимии, так и для прогнозно-металлогенических целей.

Цель работы: изучить индикаторную роль элементного состава карбонатной составляющей природных пресных вод, представленной солевыми отложениями (накипью), для эколого-геохимических и прогнозно-металлогенических исследований на примере Байкальского региона.

Задачи исследований:

1. Исследовать зависимость элементного состава формирующихся карбонатных отложений от общих гидрогеохимических показателей и микроэлементного состава воды; выявить особенности поведения химических элементов в процессе кипячения воды;

2. Оценить содержание и распределение химических элементов, в том числе редких, редкоземельных и радиоактивных, и выявить их индикаторное значение в карбонатных отложениях природных пресных вод (накипи) в районах с разной природно-техногенной обстановкой;
3. Выделить геохимические типы карбонатных образований (накипи) по уровням концентрации, ассоциациям и соотношениям химических элементов;
4. Изучить особенности минерального состава матрицы и выявить микроминеральные фазы химических элементов в карбонатных образованиях (накипи);
5. Обосновать возможность использования карбонатных отложений природных пресных вод в прогнозно-металлогенических целях и для оценки степени техногенной трансформации территории.

Объектом исследования являются карбонатные отложения (накипь) природных пресных вод. **Предметом исследования** – их элементный и минеральный состав. **Территория исследования** – Байкальский регион, значительная часть которого является особо охраняемой территорией мирового значения.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положены образцы накипи, травертинов и воды, отобранные сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (ГЭГХ ТПУ) в сотрудничестве с сотрудниками Бурятского государственного университета (БГУ) (профессор, д.г.н. Т.Т. Тайсаев), Геологического института СО РАН (инженер С.В. Бартанова), Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (н.с., к.г.-м.н. А.В. Паршин) при непосредственном участии автора. Общее количество проб карбонатных отложений из бытовой теплообменной аппаратуры составляет 181, также проанализировано 26 проб воды и 20 проб травертинов.

Базовым аналитическим методом для определения элементного состава накипи и травертинов являлся инструментальный нейтронно-активационный анализ на 27 химических элементов (ядерно-геохимическая лаборатория Международного инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» кафедры ГЭГХ ТПУ, аналитики – с.н.с. А.Ф. Судыко, Л.В. Богутская). Для установления особенностей поведения химических элементов в системе «вода-накипь» применялся комплекс методов: ионная хроматография, потенциометрия, титриметрия, кондуктометрия, фотоколориметрия, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (научно-образовательный центр (НОЦ) «Вода», кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Томского политехнического университета (ГИГЭ ТПУ), руководитель – к.г.-м.н, доцент А.А. Хващевская). Анализ ряда образцов выполнялся также методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в ООО «Химико-аналитический центр «Плазма» (г. Томск, директор – Н.В. Федюнина). В полевых условиях при отборе воды производилось измерение рН, Eh и температуры (рН-009(1), ОРР-200). Минеральный состав образцов определялся методом рентгеновской дифрактометрии на приборах ДРОН-3М,

Bruker D2 Phaser (лаборатория методов исследования вещественного состава природных объектов МИНОЦ «Урановая геология» ГЭГХ ТПУ, заведующий лабораторией – Г.А. Бабченко), Rigaku Ultima IV (ОАО «ТомскНИПИнефть», аналитик – Ю.М. Лопушняк). Отдельные аномальные по содержанию пробы накипи изучались на сканирующем электронном микроскопе Hitachi-3400N с энергодисперсионной приставкой для микроанализа (лаборатория электронно-микроскопической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» кафедры ГЭГХ ТПУ, аналитик – С.С. Ильенко).

Защищаемые положения:

1. Воды, используемые для питьевого водоснабжения на территории Байкальского региона, являются гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми и характеризуются доминирующей ролью карбонатной составляющей (72 %), что обуславливает формирование кальцита (в ряде случаев с содержанием Mg до 13%) и арагонита как главных минералов в составе накипи. При этом отмечается значимая положительная корреляция содержания кальцита с содержанием Fe, Cr, Co, а арагонита – со Sr. Кальцит является преобладающим минеральным видом в составе накипи в пределах рифтогенных впадин: Тункинской и Баргузинской.

2. Геохимическая специализация карбонатных отложений природных пресных вод на территории Байкальского региона проявляется в повышенных концентрациях Zn, Ca, Sr, Cs, Se. Предлагается выделить несколько типов карбонатных отложений, выделяющихся по содержанию, ассоциациям и соотношениям химических элементов, например: 1) баргузинский, 2) среднеселенгинский, 3) тункинский.

3. Элементный состав накипи отражает гидрогеохимические особенности природных пресных вод, обусловленных, прежде всего, их карбонатной составляющей (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}), также специфику геологического строения и металлогеническую специализацию Байкальского региона и может быть использован как индикатор при прогнозно-металлогенических исследованиях на Ag, Au, U. В зонах интенсивного техногенеза в элементном составе накипи появляются новые геохимические ассоциации химических элементов.

4. Повышенные концентрации ряда химических элементов (Zn, Ba, Ag, Au, REE) способствуют образованию их собственных минеральных фаз в накипи: карбонатов, силикатов, сульфатов, фосфатов. Уран в карбонатных отложениях находится как в рассеянной (молекулярной) форме, так и в виде собственных минеральных микрофаз.

Научная новизна:

- получены новые данные по особенностям поведения химических элементов в процессе карбонатообразования, происходящего в условиях кипячения воды;
- доказано, что минеральный состав солевых отложений, образующихся при кипячении воды, имеет преимущественно карбонатный состав, обусловленный общей гидрогеохимической спецификой используемых пресных вод;

- впервые получены оценки средних содержаний химических элементов в карбонатных отложениях природных пресных вод Байкальского региона;
- показаны региональные особенности накопления химических элементов в сравнении с другими территориями (Томская, Павлодарская области, Республика Алтай);
- установлены тенденции поведения химических элементов в процессе кипячения воды в бытовых условиях;
- с высокой долей вероятности доказано, что образующиеся при кипячении солевые образования отражают как гидрогеохимические особенности вод, обусловленные преобладающей ролью карбонатной составляющей, так и геологические и металлогенические особенности района формирования природных вод;
- выявлены собственные микроминеральные фазы химических элементов, присутствующих в избытке, в карбонатной матрице отложений.

Практическая значимость. Проведено дифференцирование изученных районов Байкальского региона по уровням концентрации химических элементов и их ассоциациям в карбонатных отложениях, что позволило выявить возможные источники избыточного концентрирования элементов и оценить степень экологической опасности используемых природных вод.

Повышенные концентрации Ag, Au, U в карбонатных образованиях из природных пресных вод позволяют использовать геохимические показатели данных отложений для целей металлогенического прогнозирования (благороднометальная специализация Тункинской впадины, высокий урановый потенциал локальных межгорных впадин мезозойского возраста, в том числе Боргойской и Баргузинской).

Показано, что в процессе кипячения не происходит одновременного осаждения химических элементов: ряд элементов (Li, Na, Si, K, Cr, Cs, W, P, Co, Ga, Rb, Mo, Sn, Sb, U) остается в растворенном состоянии. При этом их концентрация может возрасти на 2-3 порядка, что представляет потенциальную экологическую опасность для здоровья человека.

Материалы, полученные в процессе выполнения работы, использованы при проведении занятий по курсам «Экологический мониторинг», «Медицинская геология», а также при написании курсовых и дипломных работ бакалаврами и магистрантами направления «Экология и природопользование» Института природных ресурсов ТПУ.

Личный вклад. Автором совместно с коллегами проведен отбор и подготовка проб, изучен химический и минеральный состав солевых образований. Автором лично проведена статистическая обработка данных, дана интерпретация полученных результатов и сформулированы защищаемые положения.

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым количеством проб солевых отложений (накипи), применением современных аттестованных высокочувствительных аналитических методов (ИНАА, ICP-MS, ионная хроматография, потенциометрия, титриметрия, кондуктометрия, фотокolorиметрия, рентгеновская дифрактометрия,

сканирующая электронная микроскопия), выполненных в аккредитованных лабораториях (НОЦ «Вода» ТПУ, МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ, ООО «ХАЦ «Плазма»), а также глубиной проработки фактического материала и литературы по теме диссертации. Анализ и обработка эмпирических данных проводились с использованием программ Statistica 6.0, MS Excel, Corel Draw, ArcGis, Adobe Photoshop.

Апробация работы и публикации. Результаты работы по теме диссертации докладывались на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях: «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2010-2015 гг.), «Экология России и сопредельных территорий» (г. Новосибирск, 2011, 2012 гг.), «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2010-2012 гг.), «Современные проблемы геохимии» (г. Иркутск, 2012, 2013 гг.), «Ломоносов-2012» (г. Москва, 2012), «Новые идеи в рудообразовании» (г. Москва, 2013), International Forum on Strategic Technologies (г. Улан-Батор, 2013) «Минералогия техногенеза» (г. Миасс, 2014), «Эндогенная активность Земли и биосоциальные процессы» (г. Москва, 2014), VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (г. Новосибирск, 2014), 6th International Conference on Medical Geology (г. Авейро, Португалия, 2015), IX Международной биогеохимической школе «Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии» (г. Барнаул, 2015).

Основное содержание и научные положения по диссертации изложены в 32 статьях и тезисах докладов, в том числе 5 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, и 2 статьи – в журнале и материалах конференции, цитируемых базами данными Scopus и Web of Science.

Работа выполнялась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (проект № 14.740.11.1036), гранта РНФ «Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горно-добывающих предприятий с учётом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов», проекта ТПУ ВИУ_Paris VI_132_2014 «Разработка критериев экологического районирования территорий на основе изучения геохимических изменений компонентов окружающей среды», х/д № 1-497/13 по г. Закаменск совместно с ОО «Бурятское региональное объединение по Байкалу» (г. Улан-Удэ).

Структура и объем работы. Диссертация объемом 148 страниц состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы из 233 источников. Работа содержит 84 рисунка и 20 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы и проведенных исследований. Определены цель и задачи диссертации, показаны основные результаты, представлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, обозначен личный вклад автора и апробация работы. **В первой главе** представлен краткий обзор исследований, посвященных изучению солевых отложений, которые образуются в системах водоснабжения. **Вторая глава** содержит сведения о материалах и аналитических методах. **В третьей главе** описана природно-климатическая, геологическая, ландшафтно-геохимическая,

гидрогеологическая и геоэкологическая характеристика Байкальского региона. **В четвертой главе** представлены результаты изучения системы «вода – накипь», в частности взаимосвязи элементного состава солевых отложений с гидрогеохимическими показателями и микроэлементным составом воды. Также в данной главе обсуждаются данные, полученные в ходе экспериментальных исследований по выявлению особенностей поведения химических элементов в процессе многократного кипячения воды. **Пятая глава** посвящена изучению элементного состава солевых отложений природных пресных вод на территории Байкальского региона. **В шестой главе** рассмотрены особенности минерального состава солевых образований. **В седьмой главе** рассмотрены результаты изучения накипи, элементный состав которой формируется под вероятным влиянием гидротермальной системы, в местности Вышка (Тункинская впадина). **В заключении** перечислены основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору кафедры ГЭГХ ТПУ Л.П. Рихванову за научное сопровождение и методическую помощь на всем протяжении выполнения работы.

Особую благодарность автор выражает первому научному руководителю д.б.н., профессору кафедры ГЭГХ ТПУ Н.В. Барановской. За содействие в полевых работах автор признателен д.г.н., профессору Бурятского государственного университета Т.Т. Тайсаеву, инженеру Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) С.В. Бартановой, к.г.-м.н., научному сотруднику Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) А.В. Паршину, магистранту Института природных ресурсов ТПУ В.И.Евграфовой.

За ценные советы, консультации и конструктивные замечания автор благодарен д.г.-м.н., профессорам С.Л. Шварцеву, В.К. Попову, Е.Г. Языкову, С.И. Арбузову, к.г.-м.н. В.А. Домаренко, И.С. Соболеву, Ю.В. Робертусу, Д.В.Юсупову, Т.А. Монголиной, к.х.н. Н.А. Осиповой, аспирантам Е.А.Филимоненко, А.Р. Ялалтдиновой, Ш.Ж. Арыновой (Усеновой).

Автор благодарит аналитиков, без профессионального труда которых не состоялась бы эта работа: с.н.с А.Ф. Судыко, Л.В. Богутскую, Г.А. Бабченко, С.С.Ильенка, Н.И. Шердакову, М.Г. Камбалину, Е.Ю. Каричеву, И.С. Мазурову, Н.В. Федюнину, к.х.н. С.Н. Путилина, Ю.М. Лопушняка, к.г.-м.н. М.В.Шалдыбина, д.г.-м.н., в.н.с. В.А. Пономарчука.

Автор признателен за ценные замечания, высказанные в процессе обсуждения устных сообщений на конференциях и при рецензировании статей: д.г.-м.н. Е.М. Дутовой (ТПУ), В.И. Гребенщиковой (ИГХ СО РАН), В.А. Попову (ИМин УрО РАН), С.Б. Бортниковой (ИНГГ СО РАН), В.Д. Страховенко (ИГМ СО РАН), чл.-корр. РАН В.А. Петрову (ИГЕМ РАН), д.ф.-м.н. А.В. Викулину (ИВиС ДВО РАН), к.г.-м.н. Е.А. Амплиевой, В.В. Крупской, Г.Д. Киселевой (ИГЕМ РАН), В.А. Бычинскому (ИГХ СО РАН), С.С. Потапову (ИМин УрО РАН), главному геологу Д.А. Самовичу (Байкальский филиал «Сосновгеология»).

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Положение 1. Воды, используемые для питьевого водоснабжения на территории Байкальского региона, являются гидрокарбонатными магниевыми кальциевыми и характеризуются доминирующей ролью карбонатной составляющей (72 %), что обуславливает формирование кальцита (в ряде случаев с содержанием Mg до 13 %) и арагонита как главных минералов в составе накипи. При этом отмечается значимая положительная корреляция содержания кальцита с содержанием Fe, Cr, Co, а арагонита – со Sr. Кальцит является преобладающим минеральным видом в составе накипи в пределах рифтогенных впадин: Тункинской и Баргузинской.

Доказательная база данного положения обсуждается в главах 4 и 6.

Химический состав вод, используемых для питьевого водоснабжения, на территории изученных районов в целом, удовлетворяет нормативам, предъявляемым к питьевым водам (СанПиН 2.1.4.1074-01, СанПиН 2.1.4.1175-02). Лишь в случае с пробами из г. Улан-Удэ и с. Кутулик отмечается превышение ПДК по минерализации (> 1 г/л). По классификации М.Г. Курлова воды в большинстве случаев являются гидрокарбонатными кальциевыми или магниевыми кальциевыми. Лишь на территории Баргузинской котловины происходит резкая смена гидрохимического типа вод с гидрокарбонатного на нитратный. Наиболее вероятной причиной, по всей видимости, является влияние процессов рифтогенеза. По литературным данным, в пределах Баргузинской впадины известно большое количество проявлений азотных термальных вод (Горячинский, Змеиный, Толстихинский, Аллинский и другие) (Гидрогеология Прибайкалья, 1968; Ломоносов и др., 1977; Плюснин и др., 2013; Шварцев и др., 2015 и др.).

По результатам химического анализа воды нами была рассчитана доля карбонатной части воды. Проведенные расчеты показывают, что процентное соотношение карбонатной составляющей в составе воды меняется от 21,5 % до 98 % при среднем значении 72 %. При этом в 85 % случаев карбонатная часть является доминирующей (> 50 %), что соответствует действительности, так как солевые отложения, образующиеся при кипячении воды, являются карбонатами. Согласно результатам рентгеновской дифрактометрии, макроминеральный состав карбонатных отложений природных пресных вод на территории Байкальского региона представлен кальцитом и арагонитом. В большинстве случаев карбонатные образования представляют собой полиминеральную смесь в разных соотношениях двух модификаций CaCO_3 . Необходимо отметить также изоморфное замещение Ca ионами Mg в кристаллической решетке (от 3 до 13 %).

Пространственное распределение минерального состава матрицы накипи также может быть охарактеризовано как неравномерное. Интересным является факт преимущественно кальцитовой специализации карбонатных отложений природных вод в котловинах кайнозойского возраста, что может быть рассмотрено как признак именно рифтогенных процессов (рисунок 1).

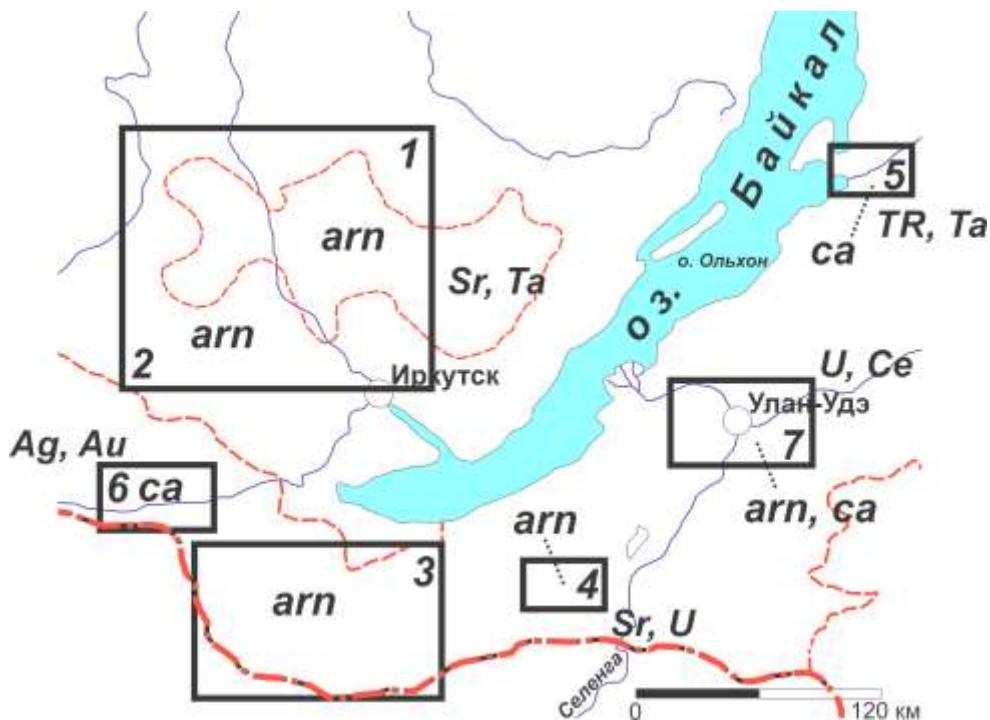


Рисунок 1 – Схематическая карта распределения главных матричных минералов в карбонатных отложениях природных пресных вод и их геохимическая специализация

Примечание: *arn* – арагонит, *ca* – кальцит; цифрами обозначены изученные районы: 1 – правобережье р. Ангара, 2 – левобережье р. Ангара, 3 – Закаменский район, 4 – Боргойская впадина, 5 – Усть-Баргузинская впадина, 6 – Тункинская котловина, 7 – пригород г. Улан-Удэ

Полученные результаты по минеральному составу накипи природных пресных вод сопоставлялись с результатами элементного состава по данным ИНАА. По расчетам коэффициентов парной корреляции необходимо отметить сильную корреляционную связь содержания кальцита с содержанием Sr, Fe, Co (0,76-0,98, вероятность – 95 %), что частично подтверждает гипотезу Потапова С.С. с соавторами (1998) о том, что из железосодержащих вод формируется кальцит. Более интересна связь содержания арагонита с содержанием Sr (0,7, вероятность – 95 %). Во всех пробах, где арагонит отсутствует или не является доминирующим минералом, содержание Sr не превышает 0,2 %.

Положение 2. Геохимическая специализация карбонатных отложений природных пресных вод на территории Байкальского региона проявляется в повышенных концентрациях Zn, Ca, Sr, Cs, Se. Предлагается выделить несколько типов карбонатных отложений, выделяющихся по содержанию, ассоциациям и соотношениям химических элементов, например: 1) баргузинский, 2) среднеселенгинский, 3) тункинский.

Доказательная база данного положения обсуждается в главе 5.

Химический состав карбонатных образований (накипи) в пределах Байкальского региона, оцененный представительно на 181 пробе с использованием метода ИНАА, в целом, подчиняется общей геохимической закономерности распределения (законы Оддо-Гаркинса, Кларка-Вернадского).

Анализ данных по элементному составу карбонатных отложений природных пресных вод позволяет выделить ведущую группу химических элементов, минимальные концентрации которых превышают единицы мг/кг: Na, Ca, Fe, Sr, Ba, Zn. Ca и Fe можно рассматривать как структурообразующие в минеральном составе накипи, что подтверждается результатами дальнейшего минералогического анализа. Наличие Zn, Sr, Ba, видимо, обусловлено близкими геохимическими свойствами, позволяющими замещать Ca^{2+} в структуре кальцита/арагонита – основных минералов в накипи.

Все изученные химические элементы подразделяются на несколько групп по диапазону содержаний: Cr, Zn, Co – 5 порядков в разнице минимальных и максимальных содержаний; Na, Fe, Sb, U – 4 порядка; Sc, As, Sr, Ag, Ba, La, Sm, Yb, Hf, Ta, Au, Th – 3 порядка; Ca, Rb, Cs, Ce, Eu, Tb, Lu – 2 порядка.

Имеющиеся данные по изучению карбонатных образований природных пресных вод на территории юга Сибири позволяют выделить региональные особенности накопления химических элементов в накипи. Региональная специфика Байкальского региона в абсолютных значениях проявляется в максимальных концентрациях Ca, Sr, Cs, Ce.

Немаловажной геохимической особенностью карбонатных отложений природных пресных вод Байкальского региона является низкое значение отношения Th/U, равное 0,008, что существенно отличает их от других карбонатных образований. Так, среднее значение Th/U для осадочных карбонатных пород составляет 1,95 (Григорьев, 2009), для эндогенных карбонатных жильных минералов Алтае-Саянской складчатой области данное отношение близко к 1 (Рихванов и др., 1986). Этот показатель в накипи близок к таковому в травертинах, например, Памуккале (Турция) – 0,03; Таловские чаши (Томская область) – 0,01; Жемчуг (Республика Бурятия) – 0,05. Для сравнения, Th/U в накипи из Томской области составляет 0,05, Горного Алтая – 0,02 и только в Павлодарской области этот показатель имеет более низкие значения – 0,005.

Анализ данных по районам внутри Байкальского региона показывает, что максимальное количество изученных химических элементов, встречающихся в наибольших средних концентрациях в накипи, отмечается в районе Усть-Баргузинской впадины (19 из 27 изученных), на правобережье р. Ангара отмечается уже только 6 (Na, Br, Rb, Cs, Tb, Au), и по одному химическому элементу зафиксировано в Боргойской впадине (Sr) и во впадинах пригорода г. Улан-Удэ (U).

Нормирование средних содержаний относительно фонового показателя, в данном случае карбонатных отложений из вод озера Байкал, позволяет определить геохимическую специализацию накипи в изученных районах (таблица 1).

Предлагается выделить несколько геохимических типов карбонатных отложений природных пресных вод (накипи) на изученной территории, отличающихся как по концентрациям, так и по ассоциациям и соотношениям химических элементов:

Таблица 1 – Геохимическая специализация карбонатных отложений природных пресных вод изученных районов (относительно карбонатных отложений из вод оз. Байкал)

Регион	Геохимический ряд	Индикаторные отношения	
Иркутская область:			
правобережье р. Ангара:	Zn_{91,2}-Ta_{8,2}-Sr_{3,6}-Tb_{2,7}-Eu_{2,3}-U_{2,2}-Ag_{1,7}-Ba_{1,6}-Ca_{1,4}-Fe=Lu_{1,1}	max: Au/Ag	
в т.ч. район влияния ПЯВ «Рифт-3»	Zn_{88,7}-Ta₁₂-Eu_{3,5}-Sr_{3,2}-Tb_{2,8}-U_{2,5}-Ba_{1,7}-Ag_{1,6}-Ca=Lu_{1,4}-Fe_{1,1}	max: Th/U	
левобережье р. Ангара	Zn_{199,8}-Tb_{2,4}-Sr_{1,9}-Lu_{1,4}-Ta=Eu_{1,3}-Ca_{1,1}		
Республика Бурятия:			
Закаменский район:	Zn_{51,9}-Lu=Ta_{1,8}-Sr=Ag_{1,6}-U_{1,5}-Tb=Fe_{1,1}		
в т.ч. район влияния бывшего Джидинского W-Мо комбината	Zn_{25,2}-Lu_{1,9}-U_{1,7}-Eu_{1,3}-Fe_{1,2}-Ca=Tb_{1,1}		
Боргойская впадина	Sr_{8,2}-U_{5,2}-Zn_{4,2}-Lu_{3,8}-Fe_{2,3}-Tb_{1,9}-Ta_{1,5}-Ag_{1,4}-Ce_{1,2}	max: Fe/Co, U/Th, La/Yb, La+Ce/Yb+Lu	
Пригород г. Улан-Удэ	Zn_{195,8}-U_{20,5}-Ce_{3,5}-Lu_{3,1}-Sr_{2,7}-Tb_{2,1}-Ta₂-Ag_{1,7}-Eu_{1,5}-Fe_{1,4}-La_{1,1}	min : Co/Th	
Усть-Баргузинская впадина	Zn_{905,1}-Ta₅₄-Fe_{53,5}-Co_{36,3}-Eu_{18,8}-Sb₁₇-Ba_{10,3}-Ag_{6,4}-Lu_{5,9}-La=U_{4,7}-Th=Yb_{3,8}-Ce_{3,7}-Hf=Sm_{3,2}-Sc_{2,2}-Cr_{2,1}	max: Na/Br, Co/Cr, Co/Th, La/Ce, Th/ Σ REE	
Тункинская котловина	Zn_{58,3}-Fe_{4,3}-Sr_{1,6}-Ba=Lu_{1,4}-Tb_{1,2} в единичных пробах аномалии Ag и Au	min: Sr/Ba, U/Th	max: Au/Ag

Примечание: **жирным** выделены химические элементы с коэффициентами концентрации больше 2; *курсивом* выделены общие для всех районов химические элементы

1. «Баргузинский» тип накипи, характеризующийся ассоциацией редких, редкоземельных и радиоактивных элементов, отражающий, по-видимому, влияние процессов рифтогенеза на гидросферу и развитие специализированных гранитоидов (Усть-Баргузинская впадина).

2. «Среднеселенгинский» тип накипи, связанный со степными и лесостепными ландшафтами Забайкалья, которые характеризуются развитием локальных скоплений U в осадочных породах (Боргойская впадина и район г. Улан-Удэ). По результатам изучения карбонатных отложений природных пресных вод этот тип является наиболее потенциально опасным в экологическом плане: связано это с «ураганскими» содержаниями U в накипи. Нужно отметить также следующий факт, что только в накипи из Боргойской впадины геохимический ряд начинается со Sr, тогда как во всех других он начинается с Zn.

3. «Тункинский» тип накипи, специализированный на Au и Ag.

Положение 3. Элементный состав накипи отражает гидрогеохимические особенности природных пресных вод, обусловленных, прежде всего, их карбонатной составляющей (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}), также специфику геологического строения и металлогеническую специализацию Байкальского региона и может быть использован как индикатор при прогнозно-металлогенических исследованиях на Ag, Au, U. В зонах интенсивного техногенеза в элементном составе накипи появляются новые геохимические ассоциации химических элементов.

Доказательная база данного положения приведена в главах 4 и 5.

Изученный нами регион характеризуется неоднородным геологическим строением и располагается на стыке двух крупных геологических структур: Сибирской платформы и Саяно-Байкальской горно-складчатой области. Сравнение средних значений накопления химических элементов в накипи показывает, что влияние геологического строения платформенной части находит свое отражение в более высоких концентрациях Ca, Cr, As, Br, Rb, Cs, Tb. Концентрация всех остальных химических элементов выше в горно-складчатой части.

Как мы уже отмечали ранее, внутри Байкальского региона в накипи наблюдается сильная дифференциация по уровням концентрации, ассоциациям и соотношениям химических элементов. По нашему мнению, это связано, прежде всего, с особенностями геологического строения и металлогении территории.

Влияние соленосных и гипсоносных отложений, слагающих большую часть осадочного чехла юга Сибирской платформы, видно в распределении ведущих химических элементов (Na, Ca, Fe). При сравнении двух изученных районов: правобережье и левобережье р. Ангара – для первого характерны более широкие вариации указанных химических элементов. Особенно это касается Na, распределение которого в тройной системе «Na-Ca/100-Fe», по сравнению с пробами из населенных пунктов с левобережья р. Ангара, отличается большим сдвигом в сторону Na.

При этом коэффициенты концентрации характерных для правобережной части химических элементов (Ca, Fe, Br, Rb, Sr, Cs, Ba) снижаются по сравнению с левобережьем, в некоторых случаях на порядок. Некоторые химические элементы (Zn, Lu) напротив показывают тенденцию к увеличению коэффициентов концентрации в 1,5-2 раза.

Для карбонатных образований природных питьевых вод левобережья р. Ангара, расположенного в районах развития Присяянского предгорного прогиба, который выполнен юрскими угленосными отложениями, характерными химическими элементами являются Zn, Tb, Sr, Lu, Eu, Ta, Ca. На наш взгляд это связано с расположением пунктов отбора проб в пределах Иркутского угольного бассейна, угли которого характеризуются повышенными содержаниями широкого ряда химических элементов (Sc, Cr, Zn, Co, REE, Hf, Ta) (Ильенок, 2013; Arbuzov et al., 2014)

Особенности сложного геологического строения горно-складчатой части Байкальского региона с наложенными процессами рифтогенеза ярко проявляются при сравнении элементного состава накипи из населенных пунктов, расположенных во впадинах мезозойского и кайнозойского возрастов

(Флоренсов, 1960). Впадины кайнозойского возраста характеризуются пониженным, за исключением двух проб, содержанием легких лантаноидов (La, Ce) (рисунок 4). Для впадин мезозойского возраста не наблюдается какой-либо связи в распределении редкоземельных элементов.

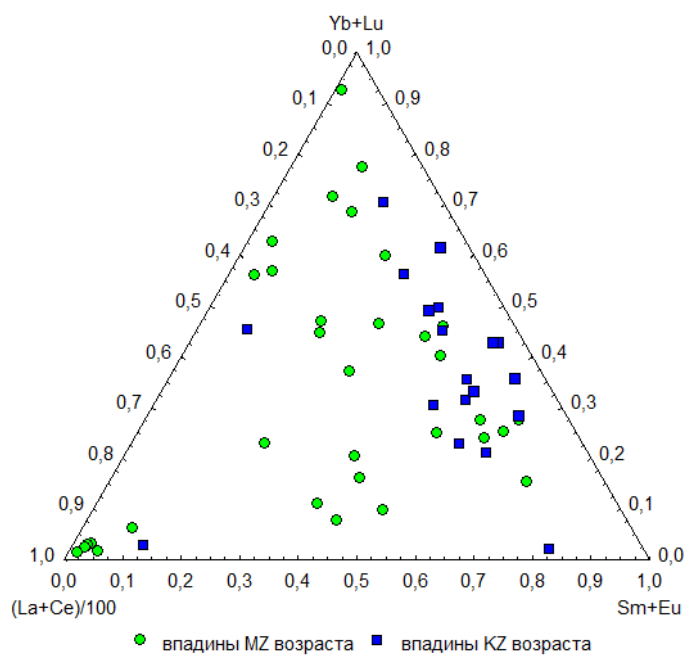


Рисунок 4 – Распределение проб накипи природных пресных вод из впадин MZ и KZ возраста в системе «(La+Ce)/100-Sm+Eu-Yb+Lu»

В элементном составе карбонатных образований природных пресных вод во впадинах кайнозойского возраста необходимо отметить аномальные концентрации U, превышающие фоновые концентрации, в среднем, в 5-20 раз. Максимальные концентрации U в накипи достигают 370 мг/кг. Такие аномалии по U, по нашему мнению, напрямую связаны с металлогеническими особенностями территории. По литературным данным, территория, примыкающая к долине р. Селенги, расположена в пределах Селенгинского потенциально урановорудного района (Самович и др., 2012).

Более того, район пригорода г. Улан-Удэ, где среднее содержание U в накипи составляет 92 мг/кг, сложен субщелочными и щелочными гранитами витимканского и куналейского комплексов. К данным комплексам приурочены Цаган-Дабанская площадь, перспективная на U-Mo минерализацию, и Жарчихинский редкометалльный рудный узел, где концентрации U достигают $20 \cdot 10^{-4}$ % (Гребенщикова и др., 2008). По нашему мнению, питьевое водоснабжение местного населения ведется из водоносных горизонтов, примыкающим к урановым рудопроявлениям.

Важнейшим структурно-геологическим элементом Байкальского региона, определяющим гидрогеологические и гидрогеохимические особенности подземных и поверхностных вод, является Байкальская рифтовая зона. Влияние рифтогенеза на формирование химического состава карбонатных отложений природных пресных вод имеет место в Усть-Баргузинской впадине, где нами выявлен чрезвычайно яркий спектр элементного состава объекта исследований (таблица 1), и Тункинской котловине.

Наиболее ярким доказательством индикаторной роли карбонатных отложений природных пресных вод для металлогенического прогнозирования

являются результаты изучения их элементного и минерального состава в районе Тункинской впадины. В накипи, отобранной в районе скважины Г-1 (м. Вышка, п. Жемчуг) установлено присутствие микрофаз Ag и Au при общем низком содержании этих химических элементов в воде.

Исследования этого минералого-геохимического феномена (Соктоев и др., 2014, 2015) показали, что в пределах Тункинской впадины на базе скважины Г-1 функционирует весьма специфическая по своим геохимическим особенностям неравновесная гидротермальная система, из которой формируются травертины с повышенными концентрациями Ag и Au (до 174 и 8,7 мг/кг, соответственно). Детальный минералогический анализ позволил выявить большое количество микроминералов Ag, Au, Pb, Cu, Sb и других химических элементов в данных образованиях (рисунок 5, а, б). Эта гидротермальная система имеет, по-видимому, гидравлическую связь с зонами вод террасового комплекса, что и обусловило обнаружение в пробах накипи аномально высоких содержаний тех же Ag и Au (до 57 и 7,5 мг/кг, соответственно). Более того, микроминеральные фазы тех же химических элементов (Ag, Au, Pb) обнаружены нами в этих пробах (рисунок 5, в, г).

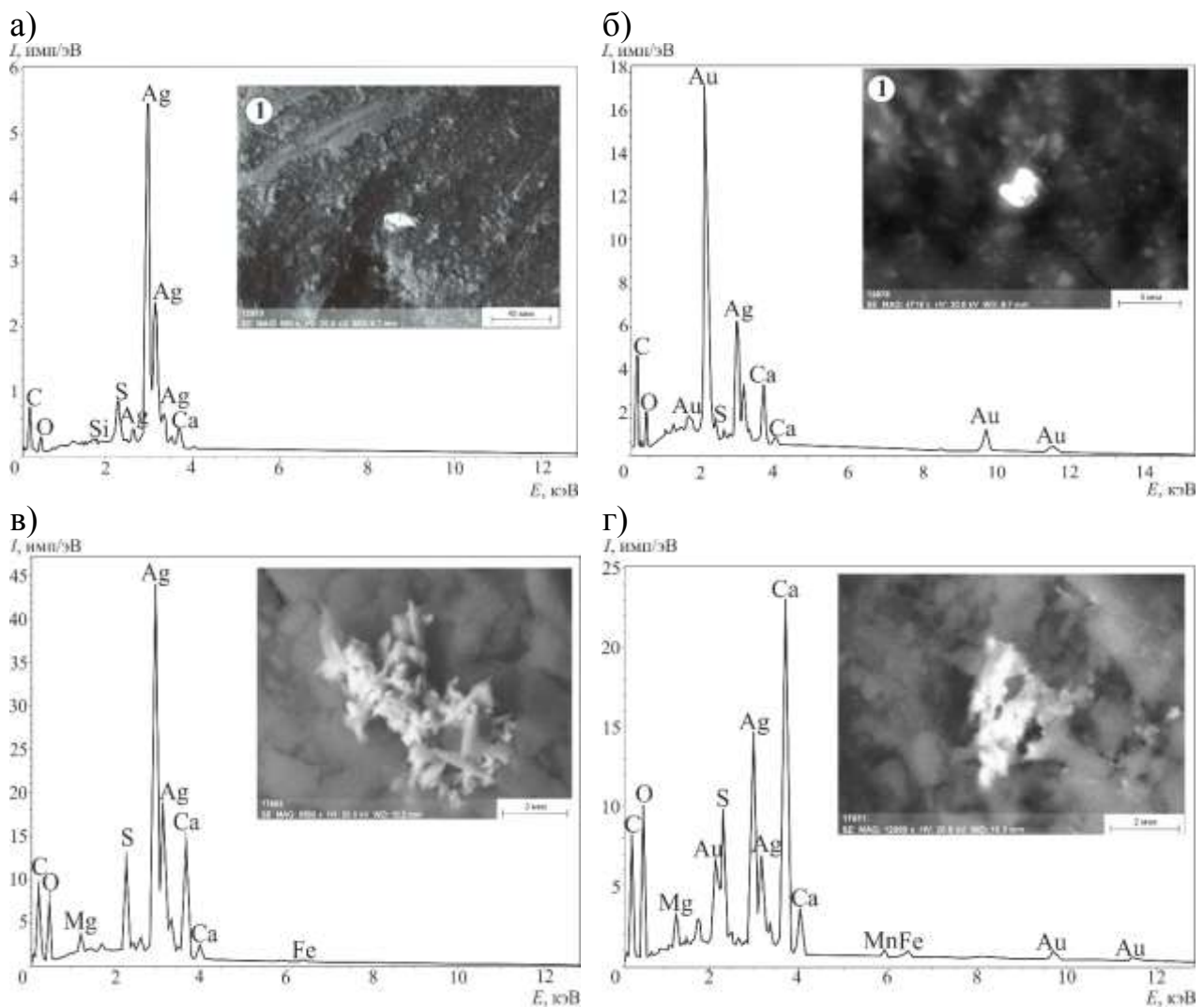


Рисунок 5 – Микроминеральные фазы Ag и Au в в травертинах, формирующихся на выходе скважины Г-1 (а, б) и карбонатных отложениях вод, используемых для питьевого водоснабжения, м. Вышка (в, г)

Это подтверждает мнение ряда исследователей областей современного гидротермального рудообразования, что даже при малых содержаниях растворенных компонентов в водах происходит их концентрирование на различных геохимических барьерах, например, бактериальных матах.

Эти данные позволяют утверждать о возможности использования элементного состава солевых отложений, образующихся при кипячении воды, для целей металлогенического прогнозирования.

На территории Байкальского региона, среди изученных районов присутствуют два достаточно сильных источника техногенной трансформации природных сред, в том числе и гидросферы: 1) подземный ядерный взрыв (ПЯВ) «Рифт-3»; 2) хвостохранилища ранее функционировавшего Джидинского W-Mo комбината – которые слабо проявлены в элементном составе карбонатных отложений природных пресных вод. Для каждого источника нами была сформирована выборка проб, которая включала образцы с территории влияния, согласно литературным данным.

Образцы, отобранные в населенных пунктах, которые расположены вдоль р. Обуса, характеризуются наиболее высокими показателями концентрации Sm, Eu и Th по сравнению с накипью из остальных населенных пунктов Прибайкалья (рисунок 6). Также зона возможного влияния ПЯВ выделяется повышенным показателем Th/U отношения: в пределах Осинского района наблюдается разделение населенных пунктов на две группы по этому показателю – находящиеся в зоне ПЯВ и вне этой зоны. Особенно это касается населенных пунктов Горхон, Хандагай, Борохал, которые находятся в верховьях р. Обуса, ближе всего к эпицентру взрыва. Для них характерен повышенный показатель Th/U отношения.

Проявленность объектов Джидинского W-Mo комбината в элементном составе накипи ярко видна при комплексном подходе к оценке влияния: сравнение содержаний химических элементов в шламовых отложениях хвостохранилищ, накипи, почве, листьях тополя, крови и волосах детей позволяет сделать вывод о едином виде распределения спектра химических элементов вне зависимости от депонирующей среды. Это позволяет говорить нам о миграции химических элементов из окружающей среды в организм человека.

Согласно результатам ИНАА, в карбонатных образованиях природных пресных вод из г. Закаменска, территории максимально негативного влияния объектов Джидинского W-Mo комбината, превышены фоновые показатели по Fe, Zn, Eu, Tb, Lu, U.

В связи с тем, что ИНАА не позволяет определять приоритетные элементы-загрязнители (Pb, Cd, Hg, F, Ni, Mo, Cu, W), мы изучили 2 пробы накипи методом ICP-MS. При сравнении с фоновыми показателями наибольшими показателями коэффициента концентрации (КК) характеризуются Ni (КК=100), Zn (65), Cd (31), Be (8,9), Hg (2,6), Bi (1,9). При этом основные рудообразующие химические элементы – W и Mo – не имеют тенденцию к накоплению в карбонатных отложениях природных пресных вод.

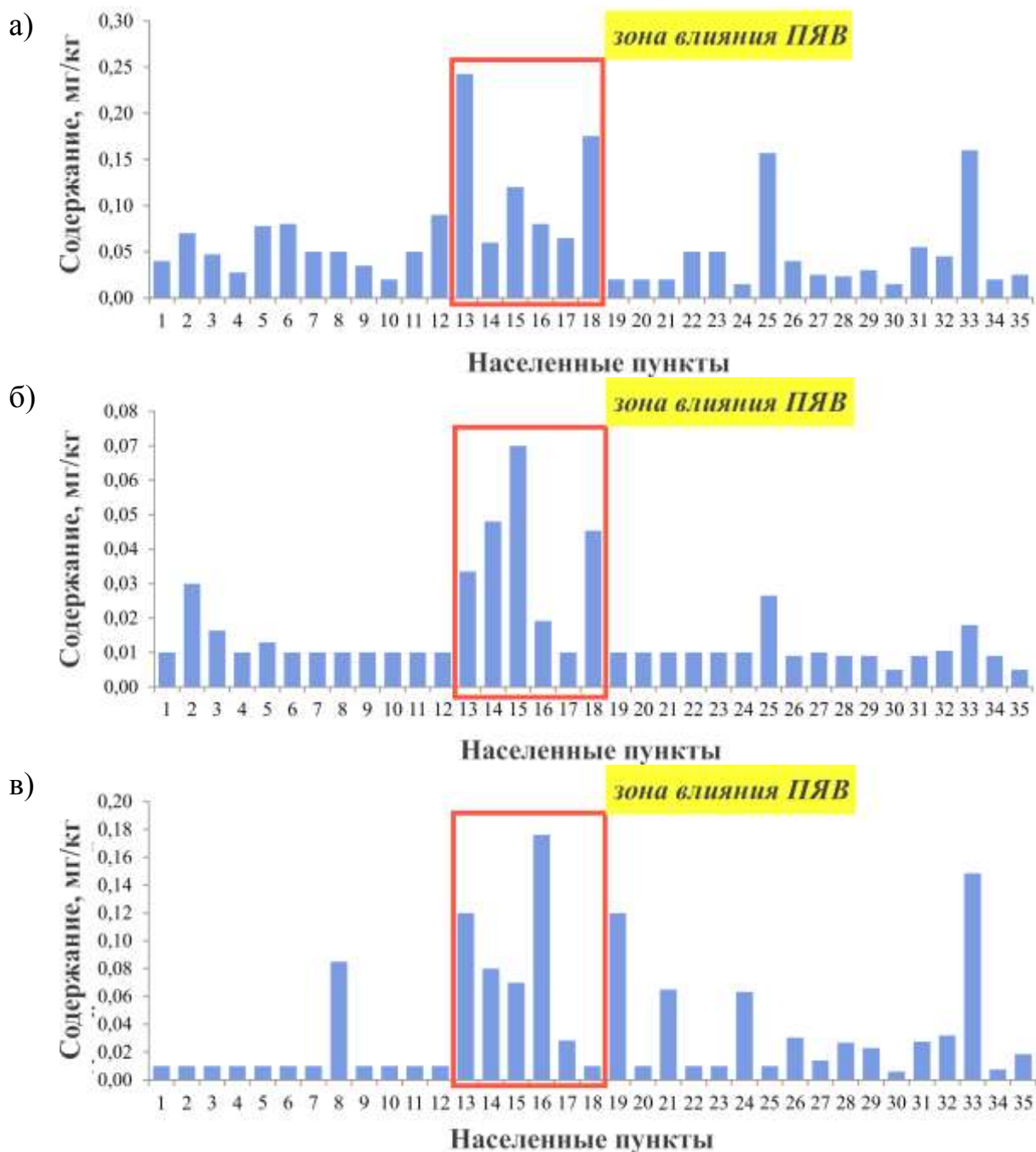


Рисунок 6 – Распределение Sm (а), Eu (б), Th (в) в накипи по населенным пунктам правобережья и левобережья р. Ангара

Населенные пункты: 1 – Тихоновка, 2 – Укыр, 3 – Хохорск, 4 – Шунта, 5 – Бохан, 6 – Заглик, 7 – Усть-Тараса, 8 – Тараса, 9 – Новая Ида, 10 – Улей, 11 – Буреть, 12 – Александровский, 13 – Хандагай, 14 – Борохал, 15 – Горхон, 16 – Обуса, 17 – Ново-Ленино, 18 – Кутанка, 19 – Шотой, 20 – Онгосор, 21 – Оса, 22 – Майск, 23 – Ирхидей, 24 – Хокта, 25 – Онгой, 26 – Балаганск, 27 – Новонукутский, 28 – Коновалово, 29 – Новоленино, 30 – Наймодай, 31 – Первомайск, 32 – Зунгар, 33 – Куйта, 34 – Зоны, 35 – Кутулик

Положение 4. Повышенные концентрации ряда химических элементов (Zn, Ba, Ag, Au, REE) способствуют образованию их собственных минеральных фаз в накипи: карбонатов, силикатов, сульфатов, фосфатов. Уран в карбонатных отложениях находится как в рассеянной (молекулярной) форме, так и в виде собственных минеральных микрофаз.

Доказательная база данного положения изложена в главах 6 и 7.

Отмеченные нами повышенные концентрации ряда химических элементов в карбонатных отложениях природных пресных вод: Na – до 1 %, Zn – до 4,8 %, Sr – до 2,6 %, Ba – до 0,7 %, Ag – до 60 мг/кг, Au – до 7,5 мг/кг, U – до 410 мг/кг – по нашему мнению, должны были найти свое отражение в минеральном составе, поэтому одной из задач данной работы являлось попытаться найти таковые.

Так, метод рентгеновской дифрактометрии позволил обнаружить собственные минеральные фазы ряда химических элементов: Na, Zn, Ba, Si, Sr. Нами выявлены минеральные фазы Zn в виде гемиморфита ($Zn_4(OH)_2[Si_2O_7] \cdot nH_2O$) – водосодержащего силиката островной структуры при содержании данного элемента в пробах 2,4 и 3 % (Усть-Баргузинская впадина). В ряде проб нами также обнаружен сульфат Ba – барит ($BaSO_4$) при содержании данного элемента по данным ИНАА 0,8 % (Усть-Баргузинская впадина). В единичных случаях методом рентгеновской дифрактометрии на основе анализа 1-2 пиков нами выявлено присутствие стронцианита с содержанием Ba 0,2 % ($Sr_{0,8}Ba_{0,2}CO_3$), гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), галита (NaCl) (пригород г. Улан-Удэ).

Применение метода сканирующей электронной микроскопии позволило выявить гораздо больше микроминеральных фаз различных химических элементов в накипи. При этом необходимо отметить, что практически все микроминеральные фазы найдены в пробах, территориально приуроченным к впадинам мезозойского и кайнозойского возрастов. В данном случае, вероятнее всего, сказывается влияние рифтогенеза, а также процессов поступления минерализованных вод из более глубоких горизонтов по разрывным нарушениям.

Также немаловажным является, что микроминеральный состав не ограничивается карбонатами, а включает также фосфаты, алюмосиликаты, самородные металлы. Размеры таких фаз варьируют от первых микрометров до сотен микрометров.

Как уже было сказано, одной из характерных особенностей накипи питьевых вод ряда районов является аномально высокое содержание U (до 0,04 %), что выше минимально промышленных концентраций данного элемента (0,01 %). Для изучения пространственного распределения и установления вероятных форм нахождения U нами был применен метод осколочной радиографии (f-радиографии). Были изучены 4 пробы с содержанием U, по данным ИНАА, от 1,8 до 436 мг/кг.

Анализ литературных данных (Флеров, Берзина, 1979; Рихванов и др., 1986₂, 1986₂) показывает, что при фоновых концентрациях U распределение треков деления на детекторе характеризуется как равномерное. Такой же

характер распределения треков выявлен нами при изучении слюды после травления образца с содержанием U – 1,8 мг/кг.

При более высоких концентрациях (> 100 мг/кг) уран, по данным осколочной радиографии, начинает концентрироваться и формировать собственные минеральные фазы с проявлением таковых в виде «звезд».

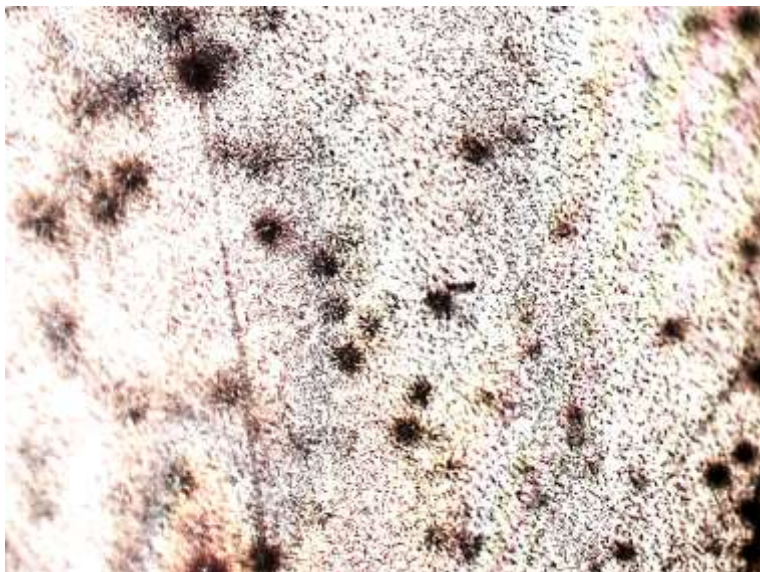


Рисунок 7 – Локальные скопления треков в виде «звезд» в накипи природных пресных вод (содержание U – 1,8 мг/кг). Детектор – слюда. Увеличение – 100х

По результатам осколочной радиографии, даже в пробах с концентрациями U ниже кларка мы наблюдаем собственные минеральные фазы данного элемента,

которые формируют «звезды» из треков осколков деления (рисунок 7). При этом фиксируется также увеличение плотности треков равномерно распределенного урана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что воды, используемые для питьевого водоснабжения на территории Байкальского региона, являются по химическому составу гидрокарбонатными кальциевыми или магниевыми-кальциевыми. Преобладающая роль карбонатной составляющей воды (72 %) способствует формированию в процессе кипячения главных минералов накипи – кальцита и арагонита. Установлена значимая положительная корреляционная связь кальцита с Fe, Cr, Co, арагонита – со Sr.

2. Карбонатные отложения (накипь) природных пресных вод практически полностью наследуют элементный состав воды, из которой они формируются. Данные экспериментальных исследований показывают, что кипячение воды не является способом снижения концентрации химических элементов. В ряде случаев происходит увеличение содержания некоторых химических элементов (Li, Na, Si, K, Cr, Cs, W, P, Co, Ga, Rb, Mo, Sn, Sb, U), что представляет потенциальную экологическую опасность для человека.

3. Геохимическая специализация карбонатных отложений природных питьевых вод на территории Байкальского региона проявляется в повышенных концентрациях Zn, Ca, Sr, Cs, Se. Распределение элементного состава накипи крайне неоднородно и характеризует контрастную обстановку на исследуемой территории, обусловленную природно-техногенными факторами. При этом

природные факторы формирования элементного состава накипи преобладают над техногенными.

4. Полученные результаты позволяют выделить несколько типов карбонатных отложений природных пресных вод: 1) баргузинский, 2) локальных межгорных впадин, 3) тункинский – которые установлены как по концентрациям химических элементов, так и по их соотношениям и ассоциациям.

5. Повышенные концентрации некоторых химических элементов (Na, Zn, Sr, Ba, Ag, Au, U) способствуют формированию собственных минеральных фаз данных элементов в составе накипи. Методом f-радиографии показано, что уран в накипи находится также в форме собственных минеральных фаз даже при низких валовых концентрациях.

6. Установленная минералого-геохимическая Ag-Au специализация карбонатных отложений природных пресных вод из района Тункинской впадины, которые унаследуют минеральный и элементный состав вод и образующихся из них травертинов (Ag, Au) в районе функционирующей гидротермальной системы скважины Г-1, является наиболее ярким доказательством возможности использования накипи для прогнозно-металлогенических целей.

7. Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования данных образований как косвенного поискового признака при прогнозно-поисковых работах на месторождения Ag, Au, U.

Список основных опубликованных работ автора по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК

1. Монголина, Т. А. Элементный состав солевых отложений питьевых вод Томской области / Т. А. Монголина, Н. В. Барановская, **Б. Р. Соктоев** // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 204-211.

2. **Соктоев, Б. Р.** Геохимическая характеристика солевых отложений питьевых вод Байкальского региона / Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, Т. Т. Тайсаев, Н. В. Барановская // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 209-223.

3. Робертус, Ю. В. Особенности химического состава солевых отложений подземных питьевых вод Республики Алтай / Ю. В. Робертус, Л. П. Рихванов, **Б. Р. Соктоев** // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 190-195

4. **Соктоев, Б. Р.** Солевые образования питьевых вод как индикаторная среда в эколого-геохимических и металлогенических исследованиях / Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, Ш. Ж. Усенова, Т. А. Монголина, Н. В. Барановская // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 1(84). – С. 40-44.

5. **Соктоев, Б. Р.** Минералого-геохимические особенности травертинов современных континентальных гидротерм (скважина Г-1, Тункинская впадина, Байкальская рифтовая зона) / Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, С. С. Ильенко, Н. В. Барановская, Т. Т. Тайсаев // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57. – № 4. – С. 370-388.

Статьи, материалы конференций

6. **Соктоев, Б. Р.** Солевые отложения (накипь) как индикатор геохимических особенностей питьевых вод (на примере Байкальского региона) / Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, Н. В. Барановская, Т. А. Монголина // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2012. – № 4. – С. 56-62.

7. Rikhvanov, L. Evaluation of drinking water according to geochemical composition of its salt deposition / L. Rikhvanov, N. Baranovskaya, **B. Soktoev**, T. Mongolina // Proceedings of 8th International Conference «Environmental Engineering». – Vilnius, Lithuania, 2011. – P. 337-342.

8. **Soktoev, B.** Chemical composition of salt sediments and its application for estimation of drinking water quality / B. Soktoev, L. Rikhvanov, N. Baranovskaya, T. Taisaev // Proceedings of 8th International Forum on Strategic Technology (IFOST-2013): in 2 vol. – Ulanbaatar: MUST, 2013. – Vol. 1. – P. 462-464.

9. **Soktoev, B. R.** Geochemical features of limescale as an indicator of drinking water quality and factor of influence on public health / B. R. Soktoev, L. P. Rikhvanov, N. V. Baranovskaya, S. Z. Arynova // MedGeo2015: Book of Abstracts of the 6th International Conference on Medical Geology. – Aveiro: UA Editora, 2015. – P. 108.

10. **Соктоев, Б. Р.** Геохимические особенности солевых отложений питьевых вод Байкальского региона / Б. Р. Соктоев, Л. П. Рихванов, Т. Т. Тайсаев // Материалы Всероссийского совещания «Современные проблемы геохимии»: в 3 т. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. – Т. 1. – С. 241-244.

11. **Соктоев Б.Р.** Радиоактивные элементы в солевых отложениях питьевых вод Байкальского региона // Материалы IV Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека». – Томск: ТПУ, 2013. – С. 485–488.

12. **Соктоев, Б. Р.** Минералого-геохимические особенности солевых отложений (накипи) из бытовой теплообменной аппаратуры / Б. Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, С. С. Ильенко, Ш. Ж. Усенова // Минералогия техногенеза-2014. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. – С. 140-146.

13. **Соктоев, Б. Р.** Индикаторная роль элементного состава солевых отложений питьевых вод / Б. Р. Соктоев // Материалы VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (с участием иностранных специалистов). – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2014. – С. 266-267.