

На правах рукописи

МАЧКАСОВА Ольга Анатольевна

ГЕОХИМИЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД
РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ И ИХ БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Специальность 25.00.07 - Гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Томск-2003

Работа выполнена в Томском политехническом университете на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор, лауреат Госпремии СССР
С.Л. Шварцев

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Г.М. Рогов
кандидат геолого-минералогических наук
Л.С. Манылова

Ведущая организация: Управление природных ресурсов и охране окружающей среды МПР по Республике Хакасия (г. Абакан)

Защита диссертации состоится **26** декабря 2003 г. в 16 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.269.03 при Томском политехническом университете
Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ, 1 корпус, 210 аудитория

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета

Автореферат разослан 25 ноября 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета к.г.н.

О.Г. Савичев

Актуальность: Удивительное свойство минеральных вод исцелять различные недуги известно с глубокой древности. Они остаются одним из основных бальнеотерапевтических средств и в наши дни. Актуальной на сегодняшний день в курортологии является проблема вовлечения местных природных факторов в курортологическую практику. Природа щедро наградила Хакасию гидроминеральными ресурсами, однако используются они слабо. Одна из проблем состоит в том, что недостаточно изучены пути формирования состава минеральных вод, без чего нельзя прогнозировать и вести поиски известных в регионе ранее и новых бальнеологических их типов.

В регионе согласно классификации минеральных вод выделяются: минеральные воды, действие которых определяется ионным составом и величиной общей минерализации; бромные; кремнистые термальные и радоновые. Наиболее широко распространена первая группа вод, в состав которой входят и сульфатные натриевые воды, вызывающие особый интерес.

Геохимией минеральных вод занимались А.М.Овчинников, В.В.Иванов, Л.А.Яроцкий, Н.И.Толстихин, Е.В.Посохов, В.Б.Адиллов, С.Р.Крайнов, В.М.Швец и многие др.. Формирование состава вод в процессе испарительного их концентрирования отражено в работах Г.Н.Каменского, О.К.Ланге, В.А.Ковды, М.Г.Валяшко. Качественно новый подход в решении вопроса формирования химического состава вод в условиях аридного климата разработан С.Л. Шварцевым. Им выдвинуто положение о том, что равновесие воды с горными породами носит двоякий характер: вода всегда неравновесна с эндогенными минералами, которые она непрерывно растворяет, но одновременно вода равновесна с гидrogenными минералами, которые она формирует. С этих позиций открываются новые возможности для уточнения условий формирования состава минеральных вод.

Цель работы: Изучить особенности состава основных типов подземных минеральных вод Хакасии, выявить их основные геохимические типы и пути формирования, дать бальнеологическую оценку каждому из этих типов.

Задачи: 1. Обобщить данные о химическом составе минеральных вод Хакасии
2. Рассчитать равновесие минеральных вод с алюмосиликатными, карбонатными и сульфатными минералами вмещающих пород
3. Выделить их геохимические типы
4. Рассмотреть факторы и процессы формирования минеральных вод
5. Дать бальнеологическую характеристику минеральных вод Хакасии и указать их бальнеологические группы.

Объекты исследования: Минеральные воды Республики Хакасия, включая Абаканский Горячий Ключ, Дикоозерское, Алтайское, Ханкульское, Ширинское, Кузнецовское месторождения и скважины в пределах горного отвода ЗАО ЗДК «Золотая звезда».

Материалы и методы исследований. В основу работы положены результаты исследований минеральных вод, проведенных испытательной лабораторией (ИЛ) природных лечебных ресурсов Томского НИИ курортологии и физиотерапии с 1980 по 2003 гг. на территории Хакасии (при участии автора в 1998-2003 гг.). В Хакасии было исследовано 16 водопроявлений минеральных вод, из которых отобрано и проанализировано 84 пробы. Химические анализы были выполнены химиками-аналитиками ИЛ природных лечебных ресурсов Томского НИИКиФ Н.Г.Сидориной, Л.Я.Полухович, А.А.Коханенко с использованием различных физико-химических методов: колориметрических при определении NH_4 , NO_2 , NO_3 , Fe, H_2SiO_3 , H_3BO_3 , Br, J, F, фенолов; титриметрических - Mg, Ca, Cl, HCO_3 , CO_3 , перманганатная окисляемость; гравиметрических - SO_4 , сухой остаток; расчетных - Na+K, M; инверсионной вольтамперометрии - Zn, Cd, Pb, Cu, Hg. Также использованы результаты химических анализов, выполненных в лаборатории физико-химических испытаний Южной геофизической экспедиции (ЮГФЭ), лаборатории Минусинской ГПП, лаборатории Республиканского ЦСЭН, любезно предоставленных нам для исследования Г.Ю.Трояновым, А.С.Кривошеевым, Р.М.Нуриевым в процессе совместных работ. При интерпретации результатов исследований были использованы программы Excel, HydroGeo, и др. При написании работы использованы практические советы сотрудников кафедры гидрогеологии и инженерной геологии. В работе использованы фондовые материалы Минусинской ГПП, Территориального фонда геологической информации Республики Хакасия, Испытательной лаборатории

природных лечебных ресурсов Томского НИИКиФ, а также опубликованные данные по ранее проведенным на территории Хакасии исследованиям.

Научная новизна: Изучены и систематизированы основные типы подземных минеральных вод Хакасии. Впервые для региона рассмотрены равновесия минеральных вод с карбонатными, сульфатными и алюмосиликатными минералами методами численного физико-химического моделирования и выделены основные геохимические типы, выявлены условия формирования кремнистых, радоновых, бромных и сульфатных натриевых вод как результат стадийного взаимодействия системы «вода – порода». Выделены новые и уточнены имеющиеся бальнеологические типы вод.

Защищаемые положения:

1. В Хакасии развиты разнообразные по химическому составу и минерализации подземные минеральные воды, залегающие преимущественно в верхнедевонских и кембрийских отложениях. Их эксплуатационные запасы на 2002 г составляют $0.350 \text{ м}^3/\text{сут}$. Подавляющая часть этих вод связана с зоной активного водообмена.

2. Развитые в регионе минеральные воды, за небольшим исключением, относятся к типу выщелачивания, и их формирование обусловлено определенной стадией взаимодействия в системе вода-порода. Доля процессов континентального засоления в формировании сульфатных натриевых вод составляет только 12-16 %, в других типах она либо выше (Алтайское месторождение), либо отсутствует полностью (Абаканский Горячий Ключ).

3. Бальнеологические свойства большинства подземных минеральных вод Хакасии определяются химическим составом, величиной минерализации, наличием специфических компонентов (кремний, радон, бром) и температурой. С учетом общепринятой классификации в регионе выделены воды различных бальнеологических типов (Кисегачский, Чебоксарский, Махачкалинский) и выделены типы не включенные в ГОСТ 13273-88 (Абаканский горячий, Ширинский и Ширинский бромный).

Практическая значимость. Проведенные исследования позволяют наметить новые перспективные объекты на минеральные воды и дать бальнеологическую характеристику их лечебного применения. В частности, для решения вопроса расширения ассортимента разливаемых местных минеральных вод рекомендуются минеральные сульфатные воды различной минерализации ($2-5 \text{ г/дм}^3$), вскрытые в пределах Кузнецовского месторождения и горного отвода ЗАО ЗДК «Золотая звезда». В Таштыпском районе перспективным для курортологического освоения являются термальные кремнистые воды «Абаканского Горячего Ключа». В процессе выполнения работы были разработаны 14 предварительных заключений о составе и качестве минеральных вод и 6 бальнеологических заключений на минеральную воду. Подготовленные бальнеологические заключения используются для розлива минеральной воды «Ханкуль» (ОАО «АЯН»), «Рейнгольд» (курорт «Озеро Шира»), «Лукияновская» (ООО «Тонус»), «Преображенская» (ООО «Минеральные воды Хакасии»); для наружного применения в Центре санаторной реабилитации «Туманный» используются минеральные воды Дикоозерского месторождения.

Апробация работы: По теме диссертации опубликовано 21 печатная работа. Результаты работы доложены на V-VII-ом Международном Симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2001, 2002, 2003), Международном симпозиуме «Чистая вода России-2003» (Екатеринбург, 2003), XVII Всероссийском совещании «Подземные воды Востока России» (Красноярск, 2003), научной конференции «Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири» (Томск, 2003). Результаты исследований включены в «Кадастр природных лечебных ресурсов Сибирского региона» и пособие для врачей «Природные лечебные факторы Сибири (показания и противопоказания к санаторно-курортному лечению). Реестр курортных и лечебно-оздоровительных местностей».

Работа выполнена в ПНИЛ гидрогеохимии УНПЦ «Вода» Института геологии и нефтегазового дела ТПУ в рамках проекта «Исследование механизмов формирования геохимических типов вод аридных ландшафтов (на примере Республики Хакасия)» и в соответствии с проектом программы Минобразования РФ «Университеты России – фундаментальные исследования» и является составной частью исследований по «Составлению гидрогеохимической карты Республики Хакасия» по заданию УПР по РХ. Также работа выполнялась в ИЛ природных лечебных ресурсов Томского НИИ курорто-

логии и физиотерапии в рамках договора с Министерством здравоохранения России (фрагмент «Оценка современного состояния рекреационного потенциала восточных регионов Сибири») и программы КТР РХ «Оценка бальнеологических свойств и экологического состояния гидроминеральных ресурсов Республики Хакасии».

Автор глубоко признателен своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Степану Львовичу Шварцеву за большое внимание и высокую требовательность к работе. Особую благодарность автор выражает второму научному руководителю кандидату геолого-минералогических наук, директору УНПЦ «Вода» Юлии Григорьевне Копыловой за ценные консультации и оказание действенной помощи на всех этапах выполнения работы.

Автор благодарен коллегам по Томскому НИИ курортологии и физиотерапии - директору д.м.н, профессору Е.Ф. Левицкому за искреннюю заинтересованность и поддержку при выполнении работы, руководителю испытательной лаборатории природных лечебных ресурсов ТНИИКиФ Н.К. Джабарову и всем сотрудникам лаборатории за самую разнообразную помощь в написании работы. Особая благодарность химикам-аналитикам ИЛ природных лечебных ресурсов Н.Г. Сидориной, Л.Я. Полухович, А.А. Коханенко, выполнившим весь комплекс физико-химических исследований минеральных вод и оказавшим консультативную помощь в работе, сотрудникам ПНИЛ гидрогеохимии И.В. Сметаниной и Т.И. Романовой за огромную разнообразную помощь в работе.

Автор выражает благодарность сотрудникам Минусинской ГПП А.С. Кривошееву, А.А. Калашниковой, Е.Л. Дорожкиной, директору ООО «Минеральные воды Хакасии» А.М. Халявину за помощь при сборе первичной информации и ценные советы. Автор искренне признателен заместителю начальника УПР и охраны окружающей среды МПР России по РХ К.В. Лысогорскому, начальнику геологического отдела МПР России А.А. Булатову, главному гидрогеологу ЮГФ Г.Ю. Троянову, ведущему инженеру-гидрогеологу ФГУ ТФ информации по природным ресурсам и охране окружающей среды МПР России по РХ Ю.Ф. Кочееву, гидрогеологу ЗАО ЗДК «Золотая звезда» Р.М. Нуриеву за ценные консультации, бескорыстную помощь, искреннюю заинтересованность и поддержку.

При написании работы автор пользовался советами сотрудников кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии и особенно доцента, к.г.-м.н. О.Ф. Зятевой. Всем автор очень благодарен.

Работа состоит из 5 глав, введения и заключения. Общий объем работы страниц машинописного текста, включая 45 рисунков, 21 таблицу и списка литературы содержащего 191 наименование (опубликованная литература) и 40 наименований фондовой литературы.

1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ХАКАСИИ

В работе дается понятие минеральных вод, рассматривается история их изучения в России в целом, и в Хакасии, в частности, рассмотрены существующие взгляды на условия формирования подземных вод.

Самые первые сведения о минеральных водах Хакасии, известны с XVIII века. С этого времени они активно изучались различными организациями и отдельными лицами, свидетельством чего служат многочисленные статьи и отчеты о геолого-структурном и гидрогеологическом строении территории, составе и условиях проявления минеральных вод, их бальнеологических свойствах. Своеобразным итогом этих исследований явилась монография «Гидрогеология СССР. Том XVIII», вышедшая в 1972 г. Коллективом авторов под редакцией И.К. Зайцева в результате обобщения многочисленных фактических материалов и литературных источников были освещены гидрогеологические и инженерно-геологические условия региона. В работе среди других типов подземных вод рассмотрены, распространенные в регионе минеральные воды и показаны перспективы их использования.

В XX веке интерес к гидроминеральной базе Хакасии привлекает ученых различных организаций (ТНИИКиФ, Томского медицинского университета, Томского политехнического университета, Томского государственного университета, Института биофизики и Института компьютерного моделирования СО РАН, вузов России – Красноярского государственного технического университета, а также Лимнологической станции факультета биологии растений университета Цюриха и факультета

трофических цепей Центра лимнологии Голландского Института экологии). В ходе этих исследований выявлены основные закономерности распространения природных вод, оценено их эколого-геохимическое состояние и перспективы расширения гидроминеральной базы Хакасии.

Несмотря на большую геолого-гидрогеологическую изученность минеральных вод Хакасии условия и механизмы их формирования остаются до конца не изученными. В данной работе эти вопросы исследуются с новых позиций взаимодействия воды с горными породами и органическим веществом.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

В работе описывается геологическое строение, тектоника, гидрогеологические условия месторождений основных типов минеральных вод Хакасии на примере Ширинского, Алтайского, Ханкульского, Кузнецовского, Дикоозерского месторождений и водопроявлений азотных кремнистых терм Абаканского Горячего Ключа.

В недрах Хакасии сосредоточены огромные запасы минеральных вод, которые оцениваются приблизительно в $0.350 \text{ м}^3/\text{сут}$. Среди них особое место занимают слабо- и маломинерализованные воды, широко используемые как питьевые лечебно-столовые или лечебные.

Хакасия характеризуется большим разнообразием ландшафтов. Ее территория в основном представляет собой котловину (Минусинскую), окруженную полукольцом горных хребтов: на западе - Кузнецкий Алатау и Абаканский, на юге - Сальджур и Сабинский, на востоке - Калтановский и Коксинский. Рельеф весьма сложен и разнообразен: горные сооружения чередуются с обширными плоскогорьями и низменными пространствами.

Климат определяется географическим положением. Хакасия расположена в поясе умеренных широт, удалена от морей и океанов и относится к типу резко континентального климата с теплым, порой жарким летом и довольно продолжительной малоснежной зимой.

Крупные месторождения минеральных вод (Ширинское, Алтайское, Ханкульское, Кузнецовское) приурочены к верхнедевонскому водоносному комплексу, в составе которого выделяются три самостоятельных водоносных комплекса, гидравлически связанные между собой: 1) водоносный терригенный комплекс тубинской свиты; 2) водоносный терригенный комплекс кохайской свиты; 3) водоносный терригенный комплекс ойдановской свиты. Водовмещающие породы - трещиноватые песчаники и алевролиты. Воды напорные (напор до 49.5 м), что обусловлено наличием в кровле пород комплекса прослоев аргиллитов и флексурообразных складок. По химическому составу они в основном сульфатные - натриевые (натриево-магниевые) с минерализацией до 4.2 г/дм^3 и более. Породы тубинской свиты - загипсованы. Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока вод из отложений кохайской свиты.; разгрузка - в р. Абакан. Режим характеризуется относительным постоянством. Практическое значение вод комплекса для хозяйственно-питьевого использования из-за низкой водообильности терригенных пород невелико, в то же время он весьма перспективен для постановки разведочных работ на минеральные воды.

Минерализация вод на *Ширинском месторождении* изменяется от 2.4 (скв. № 20) при pH 8.0 до 17.2 г/дм^3 (скв. № 1) при pH 6.6. Общая минерализация вод зависит от глубины их залегания: воды в скв. 1 вскрыты на глубине 250-450 м., а менее минерализованные воды скв. № 20 - на глубине 130 м. Основным анионом, определяющим состав воды месторождения, является сульфат, концентрация которого изменяется в пределах $1251-2231 \text{ мг/дм}^3$ (в скв. 1 до 6463 мг/дм^3). Концентрация гидрокарбоната $195-488 \text{ мг/дм}^3$; хлорида $177-341 \text{ мг/дм}^3$ и в скв. 1 до 4526 мг/дм^3 . Основным катионом, определяющим состав, является натрий в концентрации $404-1245 \text{ мг/дм}^3$ и до 5413 мг/дм^3 в скв. 1. На его долю приходится от 40 до 89 %экв. Из других катионов присутствуют кальций ($92-360 \text{ мг/дм}^3$) и магний ($51-231 \text{ мг/дм}^3$). Концентрация брома в воде скважины 1 - до 77 мг/дм^3 .

На *Алтайском месторождении* минеральных вод скважиной № 3 вскрыты хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные натриево-магниевые воды с минерализацией 2.5 г/дм^3 и pH 7.9-8.4. Концентрация гидрокарбонатов в воде изменяется от 476 мг/дм^3 до 556 мг/дм^3 , что говорит о стабильности их содержания во времени. Сульфат-ион варьирует в пределах $445-604 \text{ мг/дм}^3$ (26-33 экв%). Преобладающим катионом выступает натрий, содержание которого изменялось от 596 мг/дм^3 до 730 мг/дм^3 (71-83 экв%).

В настоящее время Ханкульское месторождение разрабатывается на трех участках геологических отводов на лицензионной основе тремя организациями ОАО «Аян», ЗАО ЗДК «Золотая звезда» и ООО «Минеральные воды Хакасии» (табл. 1). На участке «Степной» (ООО «Минеральные воды Хакасии», скв. № 1) и горного отвода ЗАО ЗДК «Золотая звезда» (скважины 1zz, 2zz, 3zz) качество подземных минеральных вод изучено по глубине и во времени. По скважинам 19, 4 и АБ-807 (Ханкульский участок, ОАО «Аян») проведено изучение изменений состава только во времени. Здесь развиты подземные минеральные воды с минерализацией 2.0-4.9 г/дм³ гидрокарбонатно-сульфатные (сульфатные) натриево-магниевого (натриевого) широко распространены в девонских отложениях. Минерализация подземных вод при этом возрастает с северо-запада на юго-восток, а состав меняется от гидрокарбонатных кальциевых до сульфатно-гидрокарбонатных натриево-магневых.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика участков Ханкульского месторождения

№ п/п	Показатель	Ханкульское месторождение, скв. 19, 4, АБ-807	Кузнецовское месторождение, участок «Степной», скв. 1 мвх	ЗАО ЗДК «Золотая звезда», скв. 1zz, 2zz, 3zz.
1	Геолого-структурная позиция	южное крыло антиклинальной структуры между Ханкульской и Кирбинской синклиналями	замковая часть антиклинальной структуры между Ханкульской и Кирбинской синклиналями	юго-западная часть крыла Кирбинской синклинали
2	Контролирующая структура	зона тектонического нарушения		
3	Водоносный горизонт	водоносный горизонт кохайской свиты верхнедевонского возраста, D ₃ kh		
4	Интервал залегания, м	38.0-65.0	100-150	100-150
5	Глубина скважин, м	от 52 до 67	150	150
6	Водовмещающие породы	переслаивание алевролитов и песчаников		
7	Тип по условиям фильтрации	напорные воды		
8	Величина напора, м	44	121.62	126
9	Величина напора над поверхностью, м	+6.6	+6.6	+5.4-+6.2 м
10	Водопроницаемость, м ² /сут	10.4	52.2	10.0
11	Гидродинамическая область	зона разгрузки		
12	Тип воды, минерализация, г/дм ³	SO ₄ -Mg-Na, 2.4-3.0	SO ₄ -Na, 1.8-2.2	SO ₄ -Na, 2.0-4.9

На территории Ханкульского участка выделяются две группы вод: 1) скв. 19, АБ-807, 3, 4, 1zz, 3zz. 2) Кузнецовское месторождение и скв. 2zz. В первой группе наблюдается явление опреснения минеральных вод с глубиной, во второй, наоборот - засоление. Месторождение осложнено зонами тектонических нарушений, которые являются коллекторами подземных вод и по которым происходит их разгрузка. Подземные воды верхнедевонских отложений в 3-4 км от области питания (предгорья и низкотермальные) обладают напором вследствие затрудненности разгрузки через глинистые образования кор выветривания, развитых на аргиллитах и алевролитах.

На описываемом участке возможно выявление как новых месторождений, так и расширение перспектив уже имеющихся. Наиболее перспективными, с точки зрения выявления минеральных вод, являются участки повышенной трещиноватости, контролируемые зонами разломов субширотного простирания на площади развития верхнедевонских отложений к югу и северо-западу от геологических отводов ОАО «Аян» и ЗАО ЗДК «Золотая Звезда», где вероятно развитие минеральных вод, аналогичных по составу водам Ханкульского месторождения с минерализацией 2-4 г/дм³.

Дикоозерское месторождение радоновых вод приурочено к зоне дробления кремнистых и графито-глинистых сланцев, чередующихся друг с другом по простиранию и падению. С запада сланцы обрезаются гранитоидами, на востоке сменяются известняками. Воды - пресные холодные, около нейтральные. Преимущественный состав — гидрокарбонатный кальциевый. Концентрация гидрокарбоната изменяется от 134 до 329, в среднем по месторождению 284 мг/дм³. Сульфат-ион варьирует в пределах 67-221 мг/дм³ (среднее 142). Концентрация хлорид-иона изменяется от 14 до 21 мг/дм³. Катионный состав представлен ионами натрия, магния и кальция. Преобладающим катионом выступает кальций с содержанием от 92 до 108 мг/дм³. Среднее значение pH - 7.67. Содержание радона в

водах Дикоозерского месторождения составляет менее 60 нКи/дм³. Подземные воды обогащаются радоном непосредственно в эманулирующем коллекторе, приуроченном к ураново-ториевой минерализации в районе скважины № 12. Радиоактивность подземных вод связана с содержанием урана в зонах дробления, а также с присутствием в дайках ураносодержащих минералов.

Выход кремнистого термального источника «Абаканский Горячий Ключ» приурочен к Коньей-Бедуйской зоне разломов, сложенной нижнепалеозойскими гнейсами, реже кристаллическими сланцами, контактирующими с гранитами и гранитогнейсами. В результате испытаний образцов воды источника (1912-2000 гг.) различными лабораториями установлено, что основным анионом, определяющим состав воды, является гидрокарбонат с концентрацией 137-226 мг/дм³. Также в воде присутствуют хлорид-ион и сульфат-ион, с содержанием, соответственно, 8-36 и 18-49 мг/дм³. Катионы в воде представлены кальцием (23-50 мг/дм³), натрием (суммарно с калием) (33-68 мг/дм³) и магнием (4-12 мг/дм³). Минерализация воды изменяется в пределах 0.40-0.45 г/дм³. Значение pH в большинстве случаев (4 анализа) – 7.2, и лишь в 2000 году отмечалось повышение pH до 7.8. Температура воды 37-38 °С. В воде источника содержится метакремниевая кислота – 55.9-74.9 мг/дм³. Концентрация метакремниевой кислоты в 1912 и 1928 годы составляла 38.3-26.8 мг/дм³, что, возможно связано с несовершенством в то время метода ее определения.

Таким образом, в регионе развиты несколько типов минеральных вод: воды, действие которых определяется ионным составом и величиной минерализации; бромные; кремнистые термальные и радоновые (радиоактивные). Более широко представлена первая группа вод, среди которой господствующее положение принадлежит сульфатным натриевым водам. Большинство вод месторождений и водопоявлений приурочено к верхнедевонскому водоносному комплексу, за исключением азотно-кремнистых терм Абаканского Горячего Ключа и Дикоозерского месторождения радоновых вод. Воды залегают на различных глубинах, но в большинстве изучены до глубины 150 м. Воды в основном напорные, за редким исключением вод источника Абаканского Горячего Ключа. Минерализация вод изменяется от 0.4 до 17.2 г/дм³ при pH от 6.6 до 9.1.

3. ГЕОХИМИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ХАКАСИИ

В работе описаны геохимические особенности минеральных вод Хакасии, рассчитаны равновесия их с сульфатными, карбонатными и алюмосиликатными минералами методами численного физико-химического моделирования и выделены основные геохимические типы минеральных вод.

Как было показано выше, химический состав исследованных вод типичен для вод континентального засоления. Воды пресные (Абаканский Горячий Ключ, Дикоозерское месторождение) и солоноватые (Ширинское, Ханкульское, Алтайское месторождения), в основном холодные, редко горячие (Абаканский Горячий Ключ), слабо щелочные (щелочные), с пестрым анионно-катионным составом. Содержание сульфат-иона, за редким исключением, доминирует над хлор-ионом, что можно проследить в таблице 2. Все это говорит о наличии в водах дополнительных источников серы. Приведенные данные показывают, что минерализация подземных вод изменяется в широких пределах от 0.4 г/дм³ до 17.2 г/дм³, величина pH - от 6.6 до 9.1, химический состав – от гидрокарбонатных кальциево-магниевых до сульфатных натриевых и сульфатных натриево-магниевых-кальциевых.

Характер изменения ионно-солевого состава минеральных вод с ростом их минерализации показан на рисунке 1, из которого видно, что с ростом солёности увеличение содержания основных компонентов состава не у всех одинаково. Преобладающим катионом в водах выступает натрий в концентрации 28-5413 мг/дм³, для которого характерен наибольший рост, т.к. он не задерживается никакими барьерами и при росте минерализации увеличивается его концентрация. При минерализации 0.4-2.5 г/дм³ кальций преобладает над магнием, при дальнейшем увеличении минерализации магний преобладает над кальцием. С увеличением минерализации в целом происходит рост и анионов (рис. 1). В водах с минерализацией от 2.0 до 17 г/дм³ преобладает сульфат, а в водах с солёностью <2.0 г/дм³ – гидрокарбонат.

Таблица 2.

Средний химический состав минеральных вод Хакасии

Компоненты	Единицы измерения	месторождения				скважины							
		Горяч. Ключ	Дикоозерское м-е	Алтайское м-е	Ханкульское м-е	Кузнецовское м-е	Скв 1 zz	Скв. 3 zz	Скв 20 Шир м-е	Скв 5 Шир м-е	Скв 9 Шир м-е	Скв 2 zz	Скв 1 Шир м-е
Т	°С	37.5	5.5	6.0	5.7	7.0	5.5	6.0	5.0	-	-	5.5	-
рН		7.3	7.7	8.2	8.0	7.9	9.1	8.1	7.8	7.7	7.0	8.7	6.6
Сух. остат.	мг/дм ³	332	453	2186	2486	1835	1846	2156	2304	3992	4564	5030	-
Перм. ок	мгО ₂ /дм ³	-	1.4	2.9	6.5	1.9	2.7	4.0	2.1	6.2	8.1	2.2	-
NH ₄	мг/дм ³	0.19	0.75	-	0.87	<0.05	0.82	1.14	1.85	0	0.28	0.7	2.1
NO ₂	мг/дм ³	<0.005	0.025	-	0.68	0.018	<0.007	<0.007	0.04	0	0.67	0.19	0
NO ₃	мг/дм ³	-	3.9	5.9	12.5	1.5	0.1	0.5	9.7	0	0	<0.1	0
HCO ₃	мг/дм ³	199	2845	521	417	152	183	189	223	488	220	159	195
CO ₃	мг/дм ³	-	12.0	17.5	28.0	<8.0	24.0	18.0	<0.8	0	0	<0.8	0
CO ₂	мг/дм ³	-	7.3	5.5	11.7	-	-	-	14.6	16.0	7.0	-	-
SO ₄	мг/дм ³	27	142	523	1406	1128	936	1187	1372	2231	2579	3143	6463
Cl	мг/дм ³	23	15	647	127	80	192	71	201	280	341	102	4526
F	мг/дм ³	-	0.53	1.01	0.73	1.18	-	-	0.62	0.19	1.24	-	0
Br	мг/дм ³	<0.005	-	5.1	2.0	1.0	<0.1	3.5	4.1	<0.1	<0.1	1.3	77.0
Ca	мг/дм ³	38	104	42	98	56	15	44	172	360	144	76	340
Mg	мг/дм ³	10	21	100	90	22	16	32	85	231	68	25	158
Na	мг/дм ³	49	28	636	630	544	603	581	513	584	1245	1469	5413
Fe ²⁺	мг/дм ³	<0.02	-	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.14	0	0	0.2	0
Fe ³⁺	мг/дм ³	<0.04	2	0.5	0.2	0.3	1.5	0.3	0.19	3.7	28.5	1.3	10
H ₂ SiO ₃	мг/дм ³	53.3	22	17.6	14.8	11.2	33.5	15.6	16.2	21.2	10	16.9	13
H ₃ BO ₃	мг/дм ³	2.7	4.0	15.2	9.1	10.4	15.3	11.4	-	-	-	8.9	-
Pb	мкг/дм ³	<1.0	3.5	3.0	3.3	<1.0	<1.0	<1.0	19.2	57.3	<1.0	<1.0	<1.0
Cu	мкг/дм ³	<1.0	1.3	4.0	8.0	<1.0	<1.0	<1.0	16.6	21.9	2.5	<1.0	76.7
Zn	мкг/дм ³	<1.0	30.7	0.	17.0	<1.0	<1.0	<1.0	19.8	75.6	<1.0	<1.0	<1.0
Cd	мкг/дм ³	<1.0	0.8	1.0	16.0	<1.0	<1.0	<1.0	7.3	4.5	1.7	<1.0	<1.0
Sb	мкг/дм ³	-	-	4.0	<1.0	-	-	-	3.0	59.3			
Hg	мкг/дм ³	-	-	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0					
Минерализация	г/дм ³	0.4	0.6	2.5	2.8	2.0	2.0	2.2	2.6	4.2	4.6	4.9	17.2
Число анализов		7	8	15	13	27	3	3	5	3	3	3	4
Тип воды по ионному составу		HCO ₃ - Ca-Mg	HCO ₃ - SO ₄ - Ca- Mg	Cl- SO ₄ - HCO ₃ - Na-Mg	SO ₄ -Na	SO ₄ -Na	SO ₄ -Na	SO ₄ -Na	SO ₄ -Na-Mg	SO ₄ -Mg-Ca	SO ₄ -Na	SO ₄ -Na	SO ₄ - Cl-Na

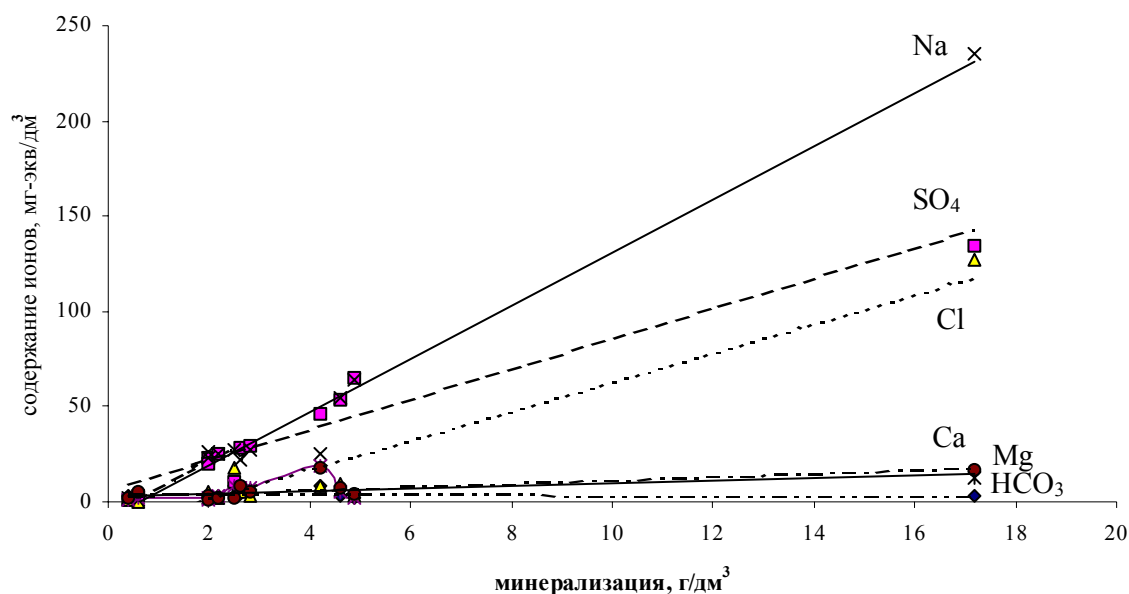


Рис.1. Зависимость ионно-солевого состава от минерализации

Неравномерность концентрирования химических элементов в водах и связанное с этим их различное поведение устанавливается по соотношению отдельных химических компонентов (табл. 3), что свидетельствует о наличии геохимических барьеров, препятствующих накоплению их в растворе. Значительный рост коэффициентов Na/Ca и Cl/Ca говорит о наличии барьера относительно кальция, содержание которого контролируется, прежде всего, насыщенностью раствора карбонатами. Несколько иначе ведет себя Cl/SO₄ коэффициент. При минерализации от 0.4 до 2.2 г/дм³ он уменьшается, а при минерализации 2.5 г/дм³ отмечается его резкое увеличение. При более высокой солености его значения снова падает и лишь при минерализации 17.2 г/дм³ снова растут. В данном случае хлор практически не встречает на своем пути никаких барьеров, потому что он не образует собственных минералов. Увеличение концентрации сульфатов в водах может быть объяснено прежде всего растворимостью гипса.

Таблица 3

Изменение соотношений между элементами в водах при увеличении общей минерализации

Минерализац, мг/дм ³	Mg/Ca	Na/Ca	Na/Mg	Cl/Na	Cl/Ca	Cl/Mg	Na/Cl	Na/SO ₄	Cl/SO ₄
408	0.25	1.27	5.03	0.47	0.6	2.36	2.13	1.79	0.84
604	0.2	0.27	1.34	0.54	0.15	0.72	1.86	0.2	0.11
2008	0.38	9.7	25.18	0.15	1.43	3.7	6.8	0.48	0.07
2020	1.08	40.2	37.22	0.32	12.78	11.83	3.14	0.6	0.2
2155	0.74	13.2	17.9	0.12	1.6	2.19	8.19	0.49	0.06
2491	2.7	16.0	5.9	0.9	14.9	5.5	1.1	1.1	1.23
2613	0.49	2.98	6.04	0.39	1.16	2.37	2.55	0.37	0.15
2765	0.91	6.42	7.01	0.19	1.19	1.31	5.37	0.45	0.08
4203	0.64	1.62	2.53	0.48	0.78	1.21	2.08	0.26	0.13
4642	0.64	8.66	18.28	0.27	2.37	5.0	3.65	0.48	0.13
4872	0.34	19.33	57.53	0.07	1.34	4.0	14.39	0.47	0.03
17209	0.46	15.92	34.27	0.84	13.31	28.66	1.19	0.84	0.7

Следует отметить тот факт, что содержание метакремниевой кислоты в водах по мере роста их солености практически неизменно (не считая кремнистых терм Абаканского Горячего Ключа). Это указывает на то, что из раствора выпадают глинистые минералы, связывающие кремний, магний, и в меньшей мере натрий и кальций. Поэтому в минеральных водах отмечается увеличение Na/Ca и Na/Mg коэффициентов. Вместе с тем соотношение Cl/Na по мере увеличения общей минерализации уменьшается. Это говорит о преобладающем концентрировании в водах натрия над хлором, и объясняется непрерывным поступлением его из первичных алюмосиликатов.

Особенности изменение химического состава вод с увеличением минерализации обусловлены не только испарительной концентрацией химических элементов, но и эволюцией их состава по мере взаимодействия с горными породами. Главная особенность такого эволюционного развития, как отмечает С.Л. Шварцев (1998), состоит в том, что вода, разрушая горную породу, концентрирует только те соединения, степень растворимости которых позволяет такое накопление в соответствии с законом действующих масс. Повышение общей минерализации вод происходит в результате более длительного взаимодействия воды с горными породами вследствие слабого водообмена и связанного с этим изменения характера направленности процессов выветривания.

Для объяснения причин неравномерного накопления химических элементов в минеральных водах нами изучено их равновесие с ведущими карбонатными, сульфатными и алюмосиликатными минералами. Равновесие изучалось по методике Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста путем нанесения результатов анализа химического состава вод на диаграммы полей устойчивости конкретных минералов. Расчет активностей химических элементов с учетом форм их миграции проводилось с использованием программы HydroGeo, разработанной М.Б. Букаты (1999).

Для выяснения степени изменения насыщенности минеральных вод относительно карбонатов (кальцита) с изменением степени их солености и щелочности использован индекс неравновесности. По мере увеличения щелочности раствора индекс неравновесности уменьшается и при pH 7.6 становится

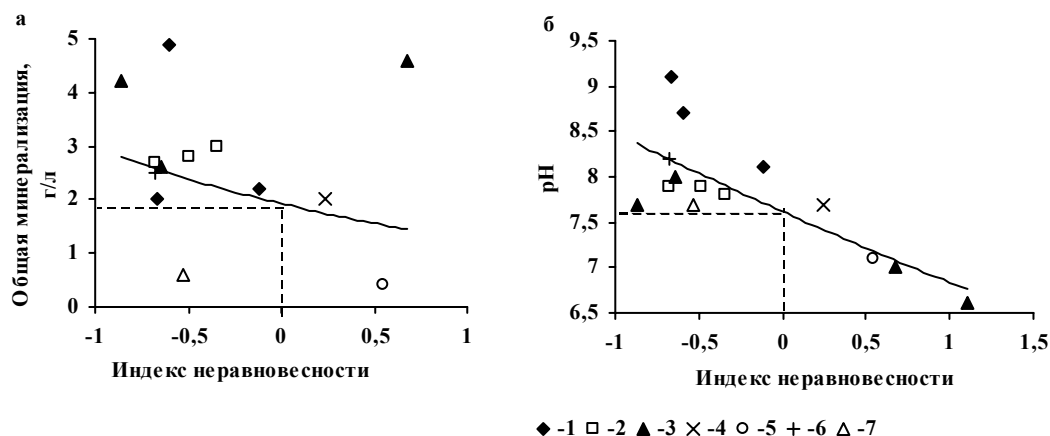


Рис.2. Зависимость значений индекса неравновесности от общей минерализации (а) и pH (б) минеральных вод Хакасии: 1-скважины в пределах горного отвода ЗАО ЗДК «Золотая Звезда»; 2-скважины Ханкульского месторождения; 3-скважины Ширинского месторождения; 4-Кузнецовское месторождение; 5-Абаканский Горячий Ключ; 6-Дикоозерское месторождение.

равным нулю, т.е. достигается равновесие воды с кальцитом (рис. 2). Как видно из рисунков 2 и 3а насыщение карбонатами наблюдается в минеральных водах Дикоозерского, Ханкульского, Алтайского месторождений, а также водах, вскрытых отдельными скважинами (5, 20 Ширинского месторождения и 1zz, 2zz и 3zz). Воды этих скважин имеют минерализацию от 0.6 до 4.9 г/дм³ и pH 7.7-9.1 и насыщены карбонатом кальция, который не растворяется а, наоборот, высаживается из раствора. После насыщения вод карбонатами становится затруднительным накопление в них кальция. В общей эволюционной схеме развития системы вода - горная порода (по С.Л. Шварцеву) кальцит выступает своеобразным барьером на пути установления равновесия воды с кальциевыми алюмосиликатами. Исключением в этом списке являются радоновые воды Дикоозерского месторождения (М 0.6 г/дм³, pH 7.67), для которого характерен интенсивный водообмен, хотя для остальных вод, насыщенных карбонатом кальция характерны замедленный водообмен и высокая минерализация. Очень близки к насыщению сульфатные натриевые воды Кузнецовского месторождения (М 2.0 г/дм³, pH 7.9). Неравновесны с кальцитом минеральные воды скважин 1, 9 Ширинского месторождения, и кремнистые термальные воды Абаканского Горячего Ключа, что, возможно связано с пониженным значением величины реакции водной среды (pH 7.0-7.6) и невысокой их минерализацией. Приведенные данные показывают, большинство минеральных вод Хакасии равновесны с кальцитом, который по мере концентрирования солей в растворе непрерывно выпадает в осадок.

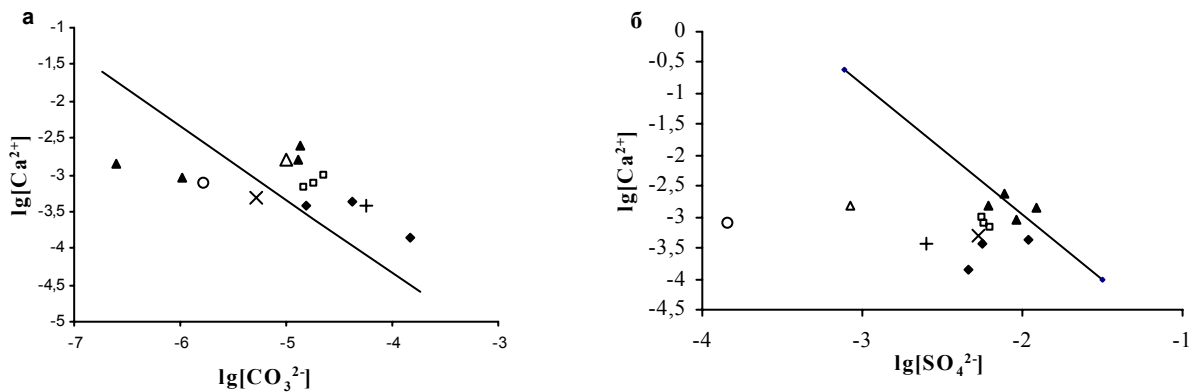


Рис.3. Степень насыщения минеральных вод Хакасии относительно кальцита (а) и гипса (б). Условные обозначения на рис.2

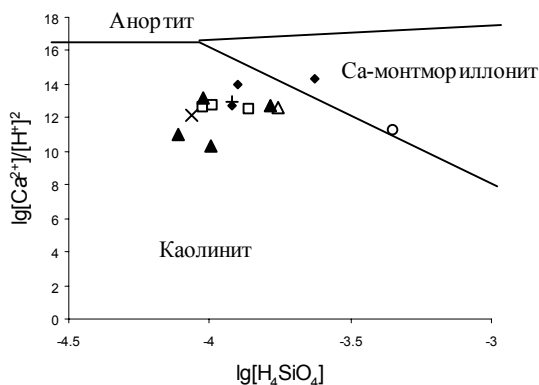


Рис.4. Система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-CaO-SiO}_2$ при 25°C с нанесением данных по составу минеральных вод Хакасии. Условные обозначения на рис.2.

воды, недонасыщены этим минералом.

Взаимодействие воды с *алюмосиликатами* приводит к образованию не только кальцита, но и вторичных продуктов, растворимость которых ниже исходных, которые поэтому и служат барьером не установления равновесия. На диаграмме равновесия воды с анортитом (рис. 4) видно, что точки всех типов

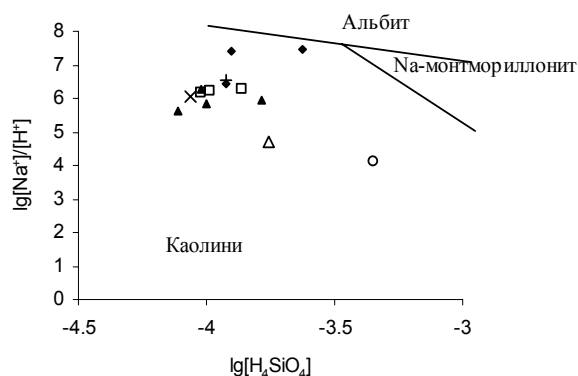


Рис.5. Система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-Na}_2\text{O-SiO}_2$ при 25°C с нанесением данных по составу минеральных вод Хакасии. Условные обозначения на рис.2.

каолинита и Са-монтмориллонита находятся воды скважин 2 zz и 5 (Ширинское месторождение), а также радоновые воды Дикоозерского месторождения.

Иная картина наблюдается для *гипса* (рис 3б). Как видно из рисунка, большинство минеральных вод, вскрытых различными скважинами, ненасыщены гипсом. И лишь воды Ширинского месторождения, вскрытые скважиной 5 и сильносоленые бромные воды скважины 1, насыщены гипсом. Очень близки к насыщению сульфатные натриевые минеральные воды, вскрытые скважинами 9 и 20 (Ширинское месторождение), 2 zz. Приближаются к состоянию насыщения минеральные воды Ханкульского месторождения (скв. 19, 4, АБ-807), скважина 1 мвх, 3zz. Наименьшая степень насыщения характерна для кремнистых вод Горячего Ключа, что естественно, т.к. это пресные воды с низким содержанием сульфата. Таким образом, подавляющее большинство минеральных вод Хакасии, и даже типичные сульфатные

минеральных вод расположены в области устойчивости глинистых минералов (каолинита и Са-монтмориллонита), а не первичных алюмосиликатов. Большинство точек располагаются в области равновесия с кальцитом при парциальных давлениях CO_2 от 10^{25} до 10^{15} Па, т.е. в тех же пределах давлений, которые характерны для реальных условий. Одновременно можно заметить, что подавляющее число точек (скв. 3 zz) и месторождений (Ханкульское, Алтайское, Дикоозерское, Ширинское, Кузнецовское) расположено в поле устойчивости каолинита. Термальные кремнистые воды Горячего Ключа и воды скважины 1 zz находятся в поле устойчивости Са-монтмориллонита. На границе равновесия

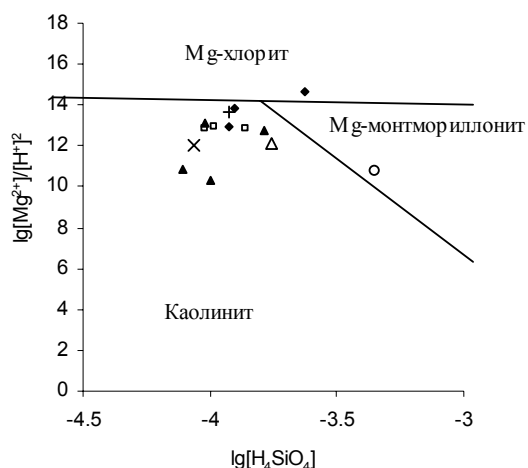


Рис.6. Система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-MgO-SiO}_2$ при 25°C с нанесением данных по составу минеральных вод Хакасии. Условные обозначения на рис.2.

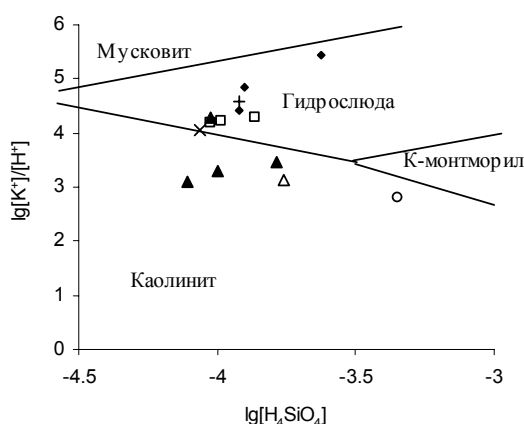


Рис.7. Система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}_2\text{-Ka}_2\text{O-SiO}_2$ при 25°C с нанесением данных по составу минеральных вод Хакасии. Условные обозначения на рис.2.

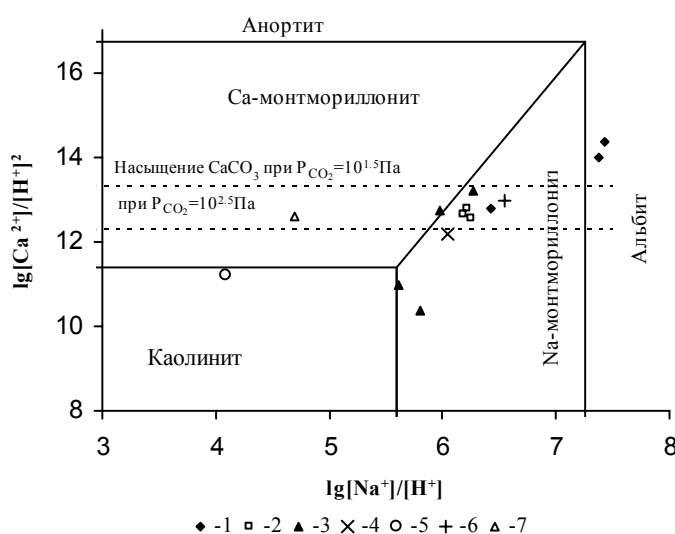


Рис.8. Система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Ca-SiO}_2$ при 25°C и $\lg[\text{H}_4\text{SiO}_4] = -3.5$ с нанесением данных по минеральным водам Хакасии. Условные обозначения на рис.2.

Диаграмма равновесия воды с альбитом (рис 5) показывает, что практически все они находятся в поле устойчивости каолинита. Воды скважины 1 zz ($\text{M } 2.0 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH } 9.1$) и 2 zz ($\text{M } 4.9 \text{ мг/дм}^3$, $\text{pH } 8.7$) очень близки к насыщению альбитом. Наиболее далеко от линии равновесия между каолинитом и альбитом отстоит вода Абаканского Горячего Ключа ($\text{M } 0.4 \text{ мг/дм}^3$; $\text{pH } 7.3$).

Анализируя характер равновесия с Mg-хлоритом (рис. 6), можно заметить, что большинство точек расположены в поле устойчивости глинистых минералов, и лишь одна точка (1 zz) насыщена к этому минералу. Основная масса точек минеральных вод расположена в поле устойчивости каолинита. Минеральные воды скважины 1 zz находятся в поле устойчивости Mg-хлорита, но одновременно очень близко отстоят от границы равновесия Mg-хлорита с Mg-монтмориллонитом.

Кремнистые термальные воды Горячего Ключа расположены в поле устойчивости Mg-монтмориллонита. Близко к самой границе равновесия каолинита и Mg-монтмориллонита находятся минеральные радоновые воды Дикоозерского месторождения и воды скважины 2 zz. Причем следует отметить, что воды скважины 2 zz одновременно очень близко подходят к границе равновесия каолинита с Mg-хлоритом.

Анализ диаграммы равновесия вод с калиевыми минералами (мусковитом) (рис. 7) показывает, что подавляющее большинство точек минеральных вод Хакасии насыщены относительно каолинита. Точки, расположенные в поле устойчивости каолинита можно разделить на две группы: первая группа (минеральные воды Кузнецовского, Ханкульского, Алтайского

месторождений, скважины 20, Ширинского месторождения, скважины 3zz), равновесны с гидрослюдой; вторую группу точек, отстоящих от линии насыщения, представляют минеральные воды Ширинского месторождения (скв. 1, 5, 9) и минеральные радоновые воды Дикоозерского месторождения. Отстоит от всех точка кремнистых вод Горячего Ключа. Это говорит о том, что в этих условиях выветривание алюмосиликатов сопровождается преимущественно образованием каолинита, и гидрослюды. Следовательно, содержание компонентов в водах ниже равновесного с мусковитом, но достаточное для насыщения вод относительно глинистых минералов.

Полученные результаты показывают, что минеральные воды Хакасии равновесны с различными глинистыми минералами (каолинитом, Са-, Mg-монтмориллонитом) и в большинстве своем остаются неравновесны с первичными алюмосиликатами (рис. 8). И лишь щелочные воды скважин 1zz и 2zz насыщены альбитом, это объясняется высокой щелочностью этих вод и низким значением в них парциального давления углекислого газа. Минеральные воды Кузнецовского, Ханкульского, Алтайского месторождений, скважина 20 Ширинского месторождения находятся в равновесии в основном с Na-монтмориллонитом. Минеральные воды Дикоозерского месторождения радоновых вод и воды Ширинского месторождения, вскрытые скважиной 5, насыщены относительно Са-монтмориллонита. Кремнистые воды Горячего Ключа насыщены относительно каолинита. Воды, вскрытые скважинами 1, 9 Ширинского месторождения и 3zz, практически находятся на границе равновесия между каолинитом и Na-монтмориллонитом.

Уникальность системы вода - алюмосиликаты заключается в ее способности к непрерывной физико-химической и геологической эволюции, включающей формирование все новых и новых вторичных минеральных новообразований и геохимических типов воды, при этом новые геохимические типы воды взаимодействуя с исходными алюмосиликатами с новой точки отсчета, образуют новые вторичные минеральные образования и новые геохимические типы воды.

Геохимические типы минеральных вод

Разнообразие химического состава подземных вод Хакасии вызывает необходимость их систематизации. В гидрогеологии выделяются химические типы вод по преобладающим анионам и катионам для чего предложены многочисленные классификации. Широко известны систематизации и классификации природных вод по химическому составу В.А. Сулина, М.Г. Валяшко, О.А. Алекина, С.А. Щукарева и др. Но имеющиеся классификации химического состава не улавливают геохимических особенностей вод различных ландшафтно-климатических зон.

Принципиально новый подход в решении этого вопроса был предложен С.Л. Шварцевым (1998). В основу выделения геохимических типов воды в земной коре им положена зависимость между составом воды (произведение активностей отдельной группы химических компонентов, включая pH и e) и составом продуктов выветривания, определяемая фундаментальными законами термодинамики. Переход одного геохимического типа в другой определяется характером изменения параметров геохимической среды и состава водного раствора и контролируется законом действия масс. Основываясь на этих принципах, по результатам изучения водно-солевых равновесий на территории Хакасии можно выделить следующие геохимические типы вод (таблица 4).

Таблица 4.

Геохимические типы минеральных вод Хакасии

Тип вод	Геохимический тип выветривания	Контролирующие показатели	Необходимое химическое условие	Месторождение, № скважины	Характеристика подземных вод
Алюминиево-кремнистый	Моносиаллитный	Al, Si, pH	Равновесие каолинитом	с Абаканский Горячий Ключ	Пресные кремнистые слабощелочные;
Кремнисто-Na (Ca-Mg-K-Fe)	Бисиаллитный	Si, Na, Mg, Ca, K, pH	Равновесие минералами групп гидрослюдов и монтмориллонитов	с 1 zz, 2 zz	Слабосоленые и среднесоленые щелочные
Щелочной карбонатно-кальциевый (содовый)	Карбонатобразование	Ca, HCO ₃ , pH	Равновесие кальцитом	с Дикоозерское, 20 III, Ханкульское, Алтайское, 3 zz, 2 zz,	Пресные радоновые слабощелочные; слабосоленые и среднесоленые слабощелочные; среднесоленые щелочные
Солоноватый сульфатно-кальциевый	Сульфатное засоление	Ca, SO ₄	Равновесие гипсом	с 5 III, I III	Средне- и сильносоленые слабощелочные

4. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

В работе рассматриваются основные условия формирования минеральных вод Хакасии.

По мнению Н.И. Толстихина и Е.В. Посохова (1975) месторождения сульфатных минеральных вод образуются преимущественно в окислительной обстановке, причем источниками сульфатных ионов являются либо гипсоносные толщи, либо продукты окисления сульфидов. В условиях аридного климата существенная роль в формировании этих вод отводится процессам континентального засоления и испарительного концентрирования. Однако возникают серьезные затруднения при объяснении механизмов формирования сульфатных натриевых вод высокой минерализации.

По условиям формирования в соответствии с классификацией Г.Н. Каменского минеральные воды Хакасии можно разделить на два типа: 1) воды выщелачивания и 2) воды континентального засоления.

Типичными представителями первого типа являются кремнистые термы Абаканского Горячего Ключа и радоновые воды Дикоозерского месторождения. Они отличаются относительно низкой минерализацией ($0.4-0.6 \text{ г/дм}^3$), слабощелочной реакцией среды ($\text{pH } 7.3-7.8$), низкими концентрациями сульфатов ($27-142 \text{ мг/дм}^3$) и хлоридов ($15-23 \text{ мг/дм}^3$) и пониженными значениями ($0.11-0.84$) Cl/SO_4 коэффициента. Примером континентального засоления являются воды Алтайского месторождения, которые характеризуются более высокой общей минерализацией ($> 2 \text{ г/дм}^3$), слабощелочным и щелочным характером среды ($\text{pH } 8.2-9.1$), высоким содержанием сульфатов и хлоридов, и как правило, повышенным отношением Cl/SO_4 коэффициента (> 1).

Формирование минеральных вод выщелачивания

Минеральные воды выщелачивания формируются за счет растворения карбонатных и алюмосиликатных горных пород, о чем говорит характер их равновесия с вмещающими породами (рис. 2-б). Как было показано, изученные воды этих месторождений неравновесны с первичными алюмосиликатами. Последние поэтому растворяются по инконгруэнтному механизму с переводом в раствор подвижных элементов (Na, Ca, Mg, K, S и др.). Обилие атмосферных осадков, низкое испарение, расчлененный рельеф и повышенная проницаемость верхней трещиноватой зоны коренных пород приводит к формированию достаточно интенсивного подземного стока в пределах средне- и высокогорной частях региона. Интенсивный водообмен в пределах выхода Абаканского Горячего Ключа и Дикоозерского месторождения обеспечивает формирование пресных гидрокарбонатных кальциево-натриевых вод с минерализацией менее 1 г/дм^3 .

Как было показано в гл. 2, минеральные воды Дикоозерского месторождения приурочены к нижнекембрийским отложениям усть-кундатской свиты, представленной известняками с горизонтами углисто-кремнистых сланцев и силицитов, которые малорастворимы и поэтому катионный состав воды отражает состав вмещающих пород. Низкая водообильность последних и небольшое количество осадков определяет относительно повышенную их минерализацию и равновесный характер с карбонатными минералами. Следовательно, обогащение минеральных вод кальцием в данном случае происходит за счет растворения карбонатных минералов.

В отличие от Дикоозерского месторождения Абаканский Горячий Ключ приурочен к зоне активного водообмена, связанной с крупным тектоническим нарушением, заложенным в алюмосиликатных породах. Отсутствие на этом участке карбонатных минералов определяет их неравновесность с кальцитом. В этих условиях источником всех катионов, включая кальций, являются первичные алюмосиликаты, с которыми воды являются неравновесны (рис. 3). Высокая степень метаморфизма пород (см. гл. 2) определяет слабую их растворимость, а значит и относительно низкую соленость, формирующихся вод, несмотря на их повышенную температуру.

Главным компонентом Дикоозерского месторождения определяющим, его бальнеологическую ценность, является радон, который образуется путем распада радия с излучением α -частиц с энергией 5.49 мэв . Подземные воды обогащаются радоном непосредственно в эмануирующем коллекторе, приуроченном к ураново-ториевой минерализации в районе скважины 12. Радиоактивность вод связана с содержанием урана в зонах дробления, а также с присутствием в дайках ураносодержащих минералов.

Активный водообмен способствует тому, что радон, несмотря на низкий период полураспада (3.825 сут.), не успевает полностью распадаться и формирует радоновые воды.

Формирование минеральных вод континентального засоления

Для провинции континентального засоления характерен испарительный режим подземных вод, неглубоко залегающих в малопроницаемых отложениях. Испарительный тип режима ведет к прогрессивному накоплению в растворе солей. Как мы уже отмечали, типичным представителем этого типа вод является Алтайское месторождение, приуроченное к верхнедевонскому водоносному комплексу. Расположено оно в геоморфологически пониженном участке с неглубоким уровнем залегания воды (от 0.7 до 40.0 м), что определяет возможность активного ее испарения. Питание комплекса осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетока из водоносного комплекса нижнекаменноугольных отложений в северной части территории, разгрузка – в бессточные котловины и, частично, в водоносный нижнекаменноугольный комплекс в южной части. По химическому составу воды гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные или сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные натриевые и магниевые с минерализацией 1.3-3.1 г/дм³.

Другим представителем вод континентального засоления в регионе служат минеральные воды скв. 1 (Ширинское месторождение). Эти воды, как было показано в главе 2, являются наиболее солеными (М 17.2 г/дм³), слабокислыми (рН=6.6), бромными (77.0 мг/дм³), отличаются высоким содержанием сульфата (6.5 г/дм³), но пониженным значением Cl/SO₄ коэффициента (0.7). Следовательно, эти воды формируются не только под влиянием процессов континентального засоления, но и за счет дополнительных источников серы. Таким источником могут выступать сульфидные минералы, в частности, пирит, которые пользуются широким распространением в девонских отложениях (см. гл. 2). В пользу вышесказанной точки зрения свидетельствуют относительно низкие значения рН вод в этой скважине, не характерные для типичных вод континентального засоления. Мы считаем, что наряду с процессами засоления происходит окисление сульфидов с формированием серной кислоты по реакции:



которая снижает рН этих вод, значение Cl/SO₄ коэффициента и определяет неравновесное состояние с кальцитом (рис. 2, 3а).

Этот пример показывает, что сульфатно-хлоридные натриевые воды формируются не только под влиянием процессов континентального засоления, но и за счет взаимодействия с минералами вмещающих пород (сульфидами, сульфатами, карбонатами, алюмосиликатами и др.). Поэтому в регионе типичных представителей вод континентального засоления очень мало. Подавляющая часть солоноватых вод сформирована в результате процессов их взаимодействия с горными породами. В частности, это касается и сульфатных натриевых вод, формирование которых вызывает споры среди исследователей.

Источником брома в водах изучаемой скважины, мы считаем наряду с испарительной концентрацией, является органическое вещество. Бром (по В.С. Самариной) является не только химическим, но и гидрогеохимическим аналогом хлора, т.к. пути рассеивания и концентрации у них близки. Он хорошо мигрирует, способен к значительной концентрации в соленых водах. У него, как и у хлора фактически отсутствует барьер растворимости, т.к. с главными катионами он образует хорошо растворимые соединения (NaBr и др.). Следует заметить, что растворимость брома выше, чем хлора. В совокупности все это приводит к росту содержания брома с ростом солености воды.

Формирование сульфатных натриевых вод

Как уже отмечалось, наряду с типичными водами континентального засоления, в регионе широко развиты воды более сложного состава и формирования. Основная отличительная их черта состоит в том, что они являются сульфатными натриевыми с повышенным содержанием сульфат-иона (до 6463 мг/дм³) и низким (0.03-0.15) Cl/SO₄ отношением, рН этих вод изменяется от слабо щелочной (7.7) до щелочной (9.1), соленость - от 2.0 до 5.0 г/дм³.

Все они приурочены к верхнедевонскому водоносному комплексу, содержащему прослой гипса, особенно в тубинской свите. По химическому составу они в основном сульфатные, реже гидрокарбонатно-сульфатные натриевые.

Источником сульфат-иона этих вод могут являться гипсы тубинской свиты, которые растворяются по реакции:



Как видно, наряду с сульфат-ионом в раствор поступают ионы кальция. Поэтому возникает вопрос: почему в подземных водах доминирует натрий, а не кальций. Чтобы объяснить этот феномен, необходимо отметить, что все эти воды, за исключением скважин 1 и 9 Ширинского месторождения, насыщены относительно кальцита (рис.2). Из этого вытекает следствие, что ион кальция, формирующийся при растворении гипса, не может концентрироваться в растворе, поскольку он должен переходить в осадок и садиться в виде кальцита по реакции:



При этом не следует забывать, что воды равновесные с кальцитом, остаются неравновесны с алюмосиликатами (рис. 4-8), которые их поэтому растворяют и, соответственно, за счет этого в растворе происходит накопление катионов магния, кальция, натрия, из которых, как мы уже отмечали, кальций связывается в форме кальцита, магний – Mg-монтмориллонита, а натрий концентрируется в растворе. Следовательно, трансформация сульфатных кальциевых вод в сульфатные натриевые происходит по реакции растворения одного из первичных алюмосиликатов и гипса с одновременным образованием какого-либо глинистого минерала и кальцита. Примером такой реакции может служить приведенная ниже реакция:



Следовательно, формирование сульфатных натриевых вод прежде всего определяется растворением гипса в пределах верхнедевонских отложений, который выступает основным источником сульфат-иона. Источником же натрия являются алюмосиликатные минералы. Поэтому формирование этих вод – это результат двух процессов: 1) растворения гипса и минералов алюмосиликатных горных пород и 2) концентрирования в процессе континентального засоления. В каждом типе минеральных вод это соотношение хотя и разное, но преобладает влияние вмещающих горных пород. Поэтому этот тип отнесен нами к водам выщелачивания (табл. 4).

Таблица 4.

Основные типы минеральных вод по условиям формирования

Тип вод по условиям формирования	Тип выщелачиваемых пород	Степень концентрирования солености		Равновесие вод с		Химический состав воды	Общая минерализация, г/дм ³	pH	Примеры месторождений и водопоявлений
		по Cl	по SO ₄	гипсом	кальцитом				
Воды выщелачивания	Алюмосиликатные	-	-	неравн	неравн	HCO ₃ -Ca-Mg	0.4	7.3	Абаканский Горячий Ключ
	Карбонатные, алюмосиликатные	-	-	неравн	равн	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg	0.6	7.7	Дикоозерское месторождение радоновых вод
	Гипсоносные, алюмосиликатные	6.0	39.9	неравн	равн	SO ₄ -Na	2.0-2.2	7.9-9.1	Кузнецовское месторождение, скв. 1zz, 2 zz (Золотая звезда)
	Гипсоносные, алюмосиликатные	8.6	52.5	неравн	равн	SO ₄ -Na, SO ₄ -Na-Mg	2.6-2.7	7.8-8.0	Ханкульское месторождение, скв. 20 (Ширинское месторождение)
	Гипсоносные,* сульфидоносные, алюмосиликатные	12.7	98.1	равн	равнов	SO ₄ -Na, SO ₄ -Mg-Ca	4.2-4.9	7.0-8.7	Скв. 5, 9 (Ширинское месторождение), скв. 2zz (Золотая звезда)
	Гипсоносные,* сульфидоносные, алюмосиликатные	238	245	неравн	равнов	SO ₄ -Cl-Na	17.2	6.6	Скв.1 (Ширинское месторождение)
Воды континентального засоления	Алюмосиликатные	34.0	19.8	неравн	равн	Cl-SO ₄ -HCO ₃ -Na-Mg	2.5	8.2	Алтайское месторождение

* Гипс здесь не только растворяется, но и осаждается

В приведенной таблице степень испарительной концентрации нами оценивалась по хлор-иону, поскольку этот элемент не имеет дополнительных источников (за исходное содержание хлора принято – 19.0 мг/дм³, а сульфат-иона – 27.1 мг/дм³). В то же время дополнительным источником сульфат-иона выступает гипс и, как мы видели, сульфиды. Поэтому и по-разному меняется Cl/SO₄ отношение в разных типах минеральных вод. Так в водах Кузнецовского месторождения концентрация по хлору (относительно типичных вод выщелачивания) составляет 6.0, а по сульфат-иону – 39.9. Значит, большая часть сульфат-иона заимствована из горных пород (гипсов), а меньшая – сконцентрирована за счет испарения. Эта же картина характерна для Ханкульского и Ширинского (скв. 5, 9, 20) месторождений и минеральных вод горного отвода ЗАО «Золотая Звезда».

Более сложная картина характерна для скв. 1 Ширинского месторождения. С одной стороны, мы видим близость концентрации солей по хлору и сульфату (степень концентрирования равна 238 и 245, соответственно). Но с другой стороны, как мы уже видели, в этой скважине имеются дополнительные источники серы за счет окисления сульфидов. Это кажущиеся противоречие объясняется тем, что воды в этой скважине насыщены гипсом и поэтому сульфат-ион не может выше концентрироваться, т.к. встречает геохимический барьер в виде гипса. Такая же картина имеет место и в скважине № 9 Ширинского месторождения.

Следовательно, для вод Ширинского месторождения мы имеем исключительно интересную схему формирования состава минеральных вод: они вначале растворяют гипс, а затем его формируют за счет дополнительных источников серы поступающих за счет окисления сульфидов. Такая сложная природная система может существовать длительное время потому, что одна и та же вода равновесна с гипсом, но неравновесна с сульфидами и кальцитом.

Наконец, воды Алтайского месторождения, которые являются типичными водами континентального засоления, формируются в основном за счет испарительного концентрирования солей. При этом хлор концентрируется несколько в большей мере, чем сульфат-ион. Возможно это связано с тем, что начальные концентрации этих ионов в атмосферных осадках были иными.

Таким образом, в регионе развиты преимущественно воды выщелачивания, которые растворяют разные типы горных пород и которые только в незначительной степени (12-16 %) подвержены процессам континентального засоления. Исключение составляют воды скважины 1 Ширинского месторождения, которые в большей мере связаны с процессами испарительного концентрирования. Типичными представителями вод континентального засоления являются только воды Алтайского месторождения.

5. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ХАКАСИИ

В работе рассматриваются требования к минеральным водам, имеющим лечебное значение, определено понятие основных терминов современного учения о минеральных водах. Под минеральными автор вслед за А.М. Овчинниковым понимает воды, обладающие биологически активными свойствами и оказывающие физиологическое воздействие на организм человека вследствие повышенного содержания в них химических элементов (в том числе радиоактивных), органических веществ, газов, или вследствие повышенной температуры.

Несмотря на огромный вклад сотрудников Томского НИИ курортологии и физиотерапии и многих других академических институтов в развитие санаторно-курортного дела в Хакасии, на ее территории очень много неиспользуемых источников минеральных вод, изучение которых приведет к значительному расширению гидроминеральной базы республики и даст возможность увеличить ассортимент разливаемых минеральных вод. Регион характеризуется богатейшим разнообразием природных ресурсов, среди которых особую, как мы видели, роль играют подземные минеральные воды. При внутреннем или наружном применении минеральных вод установлено их благоприятное влияние на регулирующие системы организма, от улучшения деятельности которых зависит выздоровление больного. Этим объясняется использование в лечебных целях самых различных минеральных вод при самых различных заболеваниях в соответствующие стадии и фазы болезни. В последнее время минеральные воды применяются для профилактики осложнений, возникающих вследствие приема

некоторых медикаментов. Дифференцированно подбирая дозировку бальнеофакторов в соответствии с заболеванием и исходным состоянием больного, можно целенаправленно применять их и тем самым вызывать желаемые реакции со стороны различных органов и систем. При этом в одних случаях бальнеопроцедуры могут заменить собой лекарственные средства, в других – усилить их действие, в третьих – создать благоприятный фон, на котором некоторые препараты будут более эффективны.

В регионе согласно классификации В.В. Иванова и Г.А. Невраева (1964) выделяются: минеральные воды, действие которых определяется ионным составом и величиной минерализации; бромные; кремнистые термальные и радоновые (табл. 5). В Хакасии распространены воды различных бальнеологических типов (Кисегачский, Чебоксарский, Махачкалинский), и типов не включенных в ГОСТ 13273-88 (Абаканский горячий, Ширинский и Ширинский бромный).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы установлено, что для территории Хакасии характерно многообразие подземных вод по минерализации и ионно-солевому составу, которое определяется природными ландшафтно-климатическими и геологическими факторами, количеством выпадающих атмосферных осадков и их соотношения с испарением, расчлененностью рельефа, обуславливающими интенсивность водообмена и степень дренирования пород, составом водовмещающих отложений, степенью взаимодействия воды с горными породами и в незначительной степени процессами континентального засоления.

С ростом минерализации подземных вод происходит смена их солевого состава от гидрокарбонатного кальциево-магниевого до сульфатно-хлоридного натриевого. Концентрация подвижных элементов (Na, Ca, Mg) в водах возрастает по мере увеличения их солёности, что приводит к формированию разных геохимических типов (алюминиево-кремнистый, кремнисто-натриевый, щелочной карбонатно-кальциевый, солоноватый сульфатно-кальциевый). Каждый из выделенных типов характеризуется неодинаковой степенью равновесности. Одни типы равновесны с глинистыми минералами, другие – с кальцитом, третьи – с гипсом, но все они неравновесны с первичными алюмосиликатами.

По условиям формирования в регионе развиты преимущественно воды выщелачивания, которые формируются в разных типах горных пород и только в незначительной степени (12-16 %) подвержены процессам континентального засоления. Исключение составляют воды скважины 1 Ширинского месторождения, которые в большей мере связаны с процессами континентального засоления. Типичными представителями вод континентального засоления являются только воды Алтайского месторождения.

В Хакасии согласно классификации минеральных вод выделяются: минеральные воды, действие которых определяется ионным составом и величиной общей минерализации; бромные; кремнистые термальные и радоновые. Для решения вопроса расширения ассортимента разливаемых местных минеральных вод рекомендуются минеральные сульфатные воды различной минерализации (2-5 г/дм³), вскрытые в пределах Кузнецовского месторождения и горного отвода и ЗАО ЗДК «Золотая звезда». В Таштыпском районе перспективным для курортологического освоения являются термальные кремнистые воды «Абаканского Горячего Ключа». Таким образом, территория Хакасии располагает перспективной ресурсной базой для расширения использования различных минеральных вод, как в курортных так и внекурортных условиях.

Таблица 5.

Группы и типы минеральных вод Хакасии и их бальнеологическое использование

Месторождение, водопроявление и его местоположение	Группа минеральных вод	Тип минеральных вод по ГОСТ 13273-88	Характеристика типа минеральной воды				Назначения и показания по лечебному использованию минеральной воды
			М, г/дм ³	Анионный состав, мг-экв%	Катионный состав, мг-экв%	Специфические компоненты, мг/дм ³	
1	2	3	4	5	6	7	8
Абаканский Горячий Ключ, Таштыпский район	Гидрокарбонатная (хлоридно-гидрокарбонатная) натриево-кальциевая	Абаканский горячий *	0.4-0.45	HCO ₃ 70-77 Cl до 20 SO ₄ до 10	Na+K 29-44 Ca 47-49 Mg до 22	H ₂ SiO ₃ 53-75	Лечебная Для наружного применения при заболеваниях суставов, костей и мышц (артриты, полиартриты нетуберкулезного происхождения); болезней нервной системы; гинекологические болезни; болезни кожи
Дикоозерское месторождение, Богградский район	Сульфатно-гидрокарбонатная натриево-магниевая-кальциевая	Кисегачский	0.5-0.7	HCO ₃ 48-74 Cl 4-7 SO ₄ 19-48	Na+K 4-22 Ca 54-77 Mg 20-27	Rn 13-51 nKu/дм ³	Лечебная Для наружного применения при лечении болезней системы кровообращения; нервной системы; костно-мышечной системы; эндокринной системы; мочеполовой системы; кожи
Кузнецовское месторождение, скважина 1 мвх, Аскизский район	Сульфатная натриевая	Чебоксарский	1.8-2.2	HCO ₃ 6-17 Cl 7-11 SO ₄ 72-86	Na+K 74-86 Ca 6-13 Mg 6-13		Лечебно-столовая При лечении болезней органов пищеварения: хронических гастритов с нормальной и повышенной секреторной функцией желудка; язвенной болезнью желудка и 12-перстной кишки; синдромов раздраженного кишечника с диареей и с запором; болезней печени; желчного пузыря, желчевыводящих путей, поджелудочной железы; нарушений органов пищеварения после оперативных вмешательств; болезнях эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ.
Скважина 1 зз, Аскизский район			2.02	HCO ₃ 11 Cl до 19 SO ₄ 70	Na+K 93 Ca 3 Mg 3		
Скважина 3 зз, Аскизский район			2.2	HCO ₃ 11 Cl 7 SO ₄ 82	Na+K 84 Ca 7 Mg 9		
Алтайское месторождение, Алтайский район	Гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридная магниевая-натриевая	Махачкалинский	2.3-2.6	HCO ₃ до 22 Cl 20-52 SO ₄ 26-33	Na+K 71-83 Ca 5- Mg 12-		Лечебно-столовая При лечении болезней органов пищеварения: (рефлюкс-эзофагит; хронический гастрит с нормальной и повышенной секреторной функцией желудка; язвенная болезнь желудка и 12-перстной кишки; синдром раздраженного кишечника с диареей и с запором; болезней печени; желчного пузыря, желчевыводящих путей, поджелудочной железы; нарушений органов пищеварения после оперативных вмешательств (синдромы оперированного желудка после операции по поводу язвенной болезни, постхолецистэктомические синдромы); болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ; болезни мочеполовой системы.

1	2	3	4	5	6	7	8
Скважина № 20 Ширинского месторождения, Ширинский район	Сульфатные сложного состава	Ширинский **	2.4-2.9	HCO ₃ 8-12 Cl 14-17 SO ₄ 73-75	Na+K 50-75 Ca 13-27 Mg 12-48		Лечебно-столовая При лечении хронических гастритов преимущественно с сохраненной и повышенной секреторной функцией желудка, хронических колитов, хронических заболеваний печени и желчевыводящих путей, хронических панкреатитов
Ханкульское месторождение, Аскизский район	Гидрокарбонатно- сульфатная магниево- натриевая	Чебоксарский	2.6-3.0	HCO ₃ 13-21 CL 6-13 SO ₄ 70-76	Na+K 61-73 Ca 10-16 Mg 17-21		Лечебно-столовая При лечении болезней органов пищеварения: хронических гастритов с нормальной и повышенной секреторной функцией желудка; язвенной болезнью желудка и 12-перстной кишки; синдромов раздраженного кишечника с диареей и с запором; болезней печени; желчного пузыря, желчевыводящих путей, поджелудочной железы; нарушений органов пищеварения после оперативных вмешательств; болезнях эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ.
Скважина № 5 Ширинское месторождение, Ширинский район	Сульфатная сложного состава	Ширинский **	4.2	HCO ₃ 13 Cl 12 SO ₄ 73	Na+K 41 Ca 29 Mg 30		Лечебно-столовая При лечении хронических гастритов преимущественно с сохраненной и повышенной секреторной функцией желудка, хронических колитов, хронических заболеваний печени и желчевыводящих путей, хронических панкреатитов
Скважина № 9 Ширинское месторождение, Ширинский район	Сульфатная натриевая		4.6	HCO ₃ 6 Cl 14 SO ₄ 80	Na+K 80 Ca 11 Mg 8		
Скважина № 2 zz, Аскизский район	Сульфатная натриевая	Чебоксарский	4.9	HCO ₃ 4 Cl 4 SO ₄ 92	Na+K 92 Ca 5 Mg 3		Лечебно-столовая При лечении болезней органов пищеварения: хронических гастритов с нормальной и повышенной секреторной функцией желудка; язвенной болезнью желудка и 12-перстной кишки; синдромов раздраженного кишечника с диареей и с запором; болезней печени; желчного пузыря, желчевыводящих путей, поджелудочной железы; нарушений органов пищеварения после оперативных вмешательств; болезнях эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ.
Скважина № 1 Ширинское месторождение, Ширинский район	Хлоридно- сульфатная натриевая	Ширинский бромный*	17.2-19.2	HCO ₃ 1 Cl 49 SO ₄ 50	Na+K 87-88 Ca 7-8 Mg 4-6	Br 77	Лечебная Для наружного применения при лечении болезней системы кровообращения; нервной системы; костно-мышечной системы; эндокринной системы; мочеполовой системы; кожи

* тип выделен на местном уровне автором

** тип выделен на местном уровне бальнеологами Томского НИИ курортологии и физиотерапии

Список основных работ автора по теме диссертации

1. Особенности организации гидрогеологического мониторинга подземных минеральных вод в Республике Хакасия // Гигиена труда, окружающей среды, профилактика профессиональной и общей заболеваемости в ведущих отраслях промышленности. - Екатеринбург, 1999. - С.166-168 (соавторы Зятева О.Ф., Гончарова Е.И.)
2. Геолого-структурные особенности и перспективы использования минеральных вод Ширинского месторождения // Современные технологии в физиотерапии и курортологии (достижения и перспективы), Материалы научной конференции. - Томск, 2000. С.61-62
3. Лечебные минеральные воды Республики Хакасия // Курортологии, физиотерапии, восстановительная медицина XXI века: Материалы международного конгресса. - Пермь, 2000. - С.91-92 (соавтор Зятева О.Ф.)
4. Оценка минеральных вод Томской области как лечебно-сырьевой базы // Тезисы докладов Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XVI совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). - Тюмень, 2000. С. (соавторы Быкова В.В., Кривенцова Т.Г., Зятева О.Ф.)
5. К вопросу о распространенности минеральных вод крымского типа на территории Новосибирской области // Актуальные проблемы восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии: Материалы Международного конгресса «Здравница-2001». - Москва 2001. С.155-156 (соавтор Полухович Л.Я.)
6. Создание информационной базы о природных лечебных ресурсах регионов Сибири (реестр, кадастр) // Актуальные проблемы восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии: Материалы Международного конгресса «Здравница-2001». - Москва 2001. С.69 (соавторы Джабарова Н.К., Яковенко Э.С., Слуцкая Г.Ф., Тронова Т.М.)
7. Кадастр природных лечебных ресурсов Сибирского региона / ТНИИКИФ. - Томск 2000. с. (соавторы Джабарова Н.К., Яковенко Э.С., Зятева О.Ф., Слуцкая Г.Ф., Клопотова Н.Г.)
8. Природные лечебные факторы Сибири (показания и противопоказания к санаторно-курортному лечению) Реестр курортных и лечебно-оздоровительных местностей (пособие для врачей) / ТНИИКИФ. - Томск 2000. с. (соавторы Шустов Л.П., Зарипова Т.Н., Гриднева Т.Д., Джабарова Н.К., Яковенко Э.С., Петракова В. С., Решетова Г.Г., Дикке Г.Б., Слуцкая Г.Ф., Клопотова Н.Г.)
9. Изучение состава минеральной воды месторождения Уш-Белдир // Проблемы геологии и освоении недр. Труды V Международного научного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых, посвящ. 100-летию горно-геологического образования в Сибири. – Томск 2001. С. 211-212
10. Минеральные воды месторождения Уш-Белдир // Курортология и физиотерапия Сибири в концепции развития здравоохранения и медицинской науки РФ (Материалы научной конференции 18-19 сентября). - Томск. 2002. С.52-54
11. Использование и степень подготовленности минеральных вод Омской области для промышленного освоения // Курортология и физиотерапия Сибири в концепции развития здравоохранения и медицинской науки РФ (Материалы научной конференции 18-19 сентября). - Томск 2002. С.52-54 (соавторы Полухович Л.Я., Сидорина Н.Г.)
12. Лечебные гидроминеральные ресурсы республики Тува, перспективы их освоения и использования // «Бальнеологические ресурсы Республики Тыва и перспективы освоения». - Кызыл 2003. С.26-32 (соавторы Полухович Л.Я., Клопотова Н.Г.)
13. Минеральные воды месторождения Уш-Белдир // «Бальнеологические ресурсы Республики Тыва и перспективы освоения». - Кызыл 2003. С. 35-38
14. Гидроминеральные ресурсы Чановского района Новосибирской области // Подано на депонирование в ВИНТИ, 2002 г № 153, январь 2003 г, 21 страница (соавторы Лыкова В.Г., Тарасов С.П., Васькина В.Н., Полухович Л.Я., Сидорина Н.Г.)
15. Современное состояние курортно-рекреационного потенциала Сибири (часть I Западная Сибирь) Гл. 2 Минеральные воды Западной Сибири (в печати) (соавторы Джабарова Н.К., Зятева О.Ф.)

16. Перспективы использования минеральных вод Хакасии // Чистая вода России-2003: Материалы VII Международного симпозиума и выставки. - Екатеринбург, 2003. С.55-56
17. Роль геолого-структурных особенностей в распространении минеральных лечебных вод в Республике Хакасия // Проблемы геологии и освоения недр. Труды VII Международного научного симпозиума им. академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск 2003. С. (соавтор Гусева Н.В.)
18. Микробный состав минеральных вод нефтегазоносных районов Западной Сибири // XVII Всероссийское совещание «Подземные воды Востока России» Иркутск-Красноярск 2003 С.34-35 (соавтор Тронова Т.М.)
19. Геохимия и равновесия минеральных вод Хакасии с горными породами // Материалы научной конференции «Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири», посвященной 100-летию П.А. Удодова – Томск 2003. С. 93-98 (соавтор Сметанина И.В.)
20. Закономерности поведения химических элементов в минеральных водах Хакасии // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. – Бийск 2003. (в печати). (соавтор Копылова Ю.Г.)
21. Характеристика Терсинского месторождения минеральных вод // Экология России и сопредельных территорий. – Новосибирск 2003. С. 110-112 (соавтор Токаренко О.Г.)