



*На правах рукописи*

ЧЕЛНОКОВ Георгий Алексеевич

**УГЛЕКИСЛЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ СИХОТЭ-АЛИНЯ  
(СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ)**

Специальность 25.00.07-гидрогеология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2005

**Работа выполнена** в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук,  
Чудаев Олег Васильевич

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук,  
Букаты Михаил Болеславович

кандидат геолого-минералогических наук,  
Копылова Юлия Григорьевна

**Ведущая организация:** Институт водных и экологических проблем ДВО  
РАН, г. Хабаровск

**Защита диссертации** состоится «17» декабря 2005 года в 12 ч. 30 мин. в 210  
аудитории 1 корпуса ТПУ на заседании диссертационного совета  
Д212.269.03 при Томском политехническом университете.

Адрес: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30

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

**Автореферат разослан** «16» ноября 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат географических наук

О.Г. Савичев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Углекислые минеральные воды - это уникальные и ценные гидроминеральные ресурсы, оказывающие лечебное воздействие на организм человека. По разнообразию типов и свойств минеральных вод Дальний Восток не уступает многим известным гидроминеральным районам Центральной Европы, Кавказа, Прибайкалья. На юге Дальнего Востока наибольшее распространение имеют холодные углекислые минеральные воды, формирующие Приморскую область, входящую в Провинцию углекислых минеральных вод Дальнего Востока. Степень изучения углекислых вод весьма неоднородна. Единичные месторождения (Ласточка и Шмаковка) хорошо известны в России и изучаются с разных позиций уже более века, исследованию остальных уделяется недостаточно внимания даже в пределах Приморского края.

Предыдущие многолетние исследования были сосредоточены главным образом либо на гидрогеологическом, либо на гидрогеохимическом аспекте изучения вод и до настоящего времени не было предложено единой комплексной картины формирования холодных минеральных вод юга Дальнего Востока. Работы, которые интерпретируют химический состав углекислых минеральных вод, как результат взаимодействия вода-порода-газ, не многочисленны (Чудаев, 2003 и др.). Полученный автором уникальный материал по месторождениям углекислых вод Дальнего Востока, анализ и обобщение данных предшественников позволили выявить факторы, определяющие формирование месторождений углекислых минеральных вод различного химического состава.

**Цель работы** – выявление закономерностей формирования химического состава углекислых вод в различных геолого-гидрогеологических условиях юга Дальнего Востока.

## Задачи исследований:

1. Определение роли геолого-гидрогеологических факторов в формировании углекислых минеральных вод юга Дальнего Востока.
2. Изучение химического состава (макро- и микроэлементов) в углекислых водах юга Дальнего Востока и определение физико-химических факторов, контролирующих состав вод.
3. Установление роли взаимодействия вода-порода в формировании химического состава углекислых минеральных вод на конкретных месторождениях.

## Защищаемые положения:

1. Месторождения холодных углекислых минеральных подземных вод приурочены к Сихотэ-Алинской гидрогеологической провинции (Сихотэ-Алинский и прилегающие области Приморского гидрогеологического массива) и локализуются в верхней трещиноватой части разреза на участках приуроченных к активным частям разломных зон, в пределах Сихотэ-Алиния и прилегающих блоков, охваченных последней тектоно-магматической деятельностью.
2. Уникальный химический состав углекислых минеральных вод юга Дальнего Востока формируется в результате взаимодействия в системе метеорные воды - водовмещающие породы – углекислый газ. Слабоминерализованные (до 1 г/л) углекислые минеральные воды имеют преимущественно гидрокарбонатный кальциевый или гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав, формируются в условиях интенсивного водообмена и недосыщены по отношению к карбонатным минералам. Углекислые гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией более 3 г/л формируются при взаимодействии метеорных вод с массивно-кристаллическими и осадочными породами в условиях замедленного водообмена и перенасыщены по отношению к карбонатным минералам, каолиниту и др.

3. Направление и скорость процессов в системе вода-порода-газ обеспечивается неравновесным состоянием этой системы. Вода неравновесна к алюмосиликатам. Наличие постоянного градиента по  $\text{CO}_2$  увеличивает скорость реакций и способствует наиболее интенсивному извлечению химических элементов из водовмещающих пород.

#### **Научная новизна:**

- впервые проведено комплексное геолого-гидрогеологическое исследование пяти наиболее значимых месторождений углекислых вод юга Дальнего Востока и получены оригинальные данные по содержанию в них макро- и микроэлементов, включая редкоземельные элементы;

- лабораторные эксперименты и компьютерное моделирование позволили определить основные параметры, контролирующие химический состав углекислых минеральных вод, и определить порядок и формы поступления в них химических элементов из водовмещающих пород.

**Практическое значение.** Результаты работы были использованы при разведке и оценке запасов месторождений Горноводное, Фадеевское и Ласточка. Принципы моделирования состава минеральных вод могут быть применены при прогнозе изменения химического состава углекислых вод при эксплуатации крупных месторождений Дальнего Востока, находящихся в сходных условиях.

**Апробация работы и публикации.** Результаты исследований и основные положения диссертации докладывались на региональной научной конференции «Молодежь и научно-технический прогресс», Владивосток, 1998; Первой Сибирской международной конференции молодых ученых по Земле, Новосибирск, 2002; XX Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, 2003; совещании «Гидрогеология и геохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока», Владивосток, 2003; XVII Всероссийском совещании «Подземные воды Востока России», Красноярск, 2003; опубликованы в сборниках «Шмаковские минеральные воды», Владивосток, 1999; «Бальнеоресурсы

Дальнего Востока», Владивосток, 2001 и «Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии», Томск, 2004. Материалы по теме диссертации представлялись на 31-м международном геологическом конгрессе, Рио-де-Жанейро, Бразилия, 2000; 11-ом международном симпозиуме «Взаимодействие вода-порода» (WRI-11), США, 2004; 15-ой международной конференции им. Гольдшмидта, США, 2005 и Седьмом международном симпозиуме «Геохимия Земной поверхности», Франция, 2005. По теме диссертации опубликовано 26 печатных работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 135 наименований отечественных и 34 зарубежных изданий. Материал диссертации изложен на 210 страницах, иллюстрирован 48 рисунками и содержит 31 таблицу.

Работа выполнена в лаборатории океанического литогенеза и рудообразования ДВГИ ДВО РАН под руководством доктора геолого-минералогических наук О.В. Чудаева, которому автор выражает искреннюю признательность за постоянную поддержку и помощь в работе. Особую признательность автор выражает к.г.-м.н. Н.А. Чепкой за постоянное внимание, интересное обсуждение результатов исследований, ценные советы и замечания при выполнении работ.

Фактический материал получен автором в результате полевых работ проводимых как самостоятельно, в качестве аспиранта Геологического института ДВО РАН, так и в тесном сотрудничестве с коллективом «Приморской гидрогеологической экспедиции», которому автор выражает глубокую благодарность. Автор благодарит за огромную поддержку и внимание в ходе работы Б.И. Челнокову и А.Н. Челнокова.

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обосновывается актуальность исследуемой проблемы, определяется цель и формулируются задачи работы, показывается ее

научная новизна и выводятся основные защищаемые положения.

### **Глава 1. Состояние проблемы и обзор исследований по углекислым минеральным водам Дальнего Востока.**

В первой главе дается обзор литературы по данной проблеме, обосновывается выбор конкретных объектов исследований.

На юге Дальнего Востока (Приморский край и юг Хабаровского края), гидрогеологические исследования наиболее активно проводились примерно до конца 70-х годов XX-го столетия. Изучение углекислых минеральных вод было направлено на анализ распространения в водах определенных компонентов химического состава. Большая работа проведена в различные годы: Маковым Я.М. (1938), Богатковым Н.М. (1940-75), Сычевой А.А.(1959), Авдеевой А.Б.(1974-79), Вартамяном Г.С.(1963), Юшакиным Е.П. (1968), Челноковым А.Н., Челноковой Б.И.(1994), Батюковым С.И.(1994) и другими. С 1994 г. гидрогеохимическое изучение месторождений проводится Чудаевой В.А, Чудаевым О.В., Чепкой Н.А и Челноковым Г.А.

Следует отметить, что большинство работ предшественников затрагивали такие проблемы изучения минеральных вод, которые остаются актуальными и по настоящее время. Каждая работа соответствовала знаниям о природе процесса и уровню развития аналитических методов в данный промежуток времени. На современном этапе появилась возможность изучения факторов формирования химического состава углекислых вод на качественно новом уровне с применением современного аналитического оборудования и с помощью компьютерного моделирования.

Для достижения поставленных в настоящей работе задач были выбраны следующие объекты (месторождения): Мухен, Ласточка, Фадеевское, Нижние Лужки и Горноводное. Изученные месторождения располагаются в различных геолого-гидрогеологических условиях и отражают определенные этапы развития Сихотэ-Алиня. Кроме того, эти месторождения имеют большое хозяйственное значение (используются для розлива вод и лечебных целей).

### **Глава 2. Основные определения и методы исследований**

В главе 2 приводятся определения терминов и понятий, которые автор использовал при написании работы. В разделе методы и подходы к изучению геохимии вод рассмотрены основные методы и приемы, использованные в работе.

Одним из основных понятий, используемых в работе, является индекс насыщения минералов (SI). Он используется для характеристики недосыщенных, перенасыщенных и равновесных растворов и определяется как отношение логарифма ионной активности продукта (ИАП) к константе его равновесия (Кр.):  $\log(\text{ИАП}/\text{Кр.})$ . Если данное отношение  $> 0$ , то раствор перенасыщен, если  $< 0$ , то недосыщен тем или иным минералом.

При проведении полевых исследований и отборе проб нестабильные параметры измерялись непосредственно на месте отбора воды. Проводился сокращенный полевой анализ воды. Для определения рН, растворенного кислорода, электропроводности, карбонат-иона и окислительно-восстановительного потенциала использовались переносные тест - комплекты на базе микропроцессора М90 (со сменными электродами) и портативная установка «Nash» для титрования.

Для определения химических элементов и компонентов в водах использовались различные аналитические методы: плазменно-оптическая эмиссионная спектрометрия (ICP-AES, Plasmaquant-110), индуктивная плазменная масс-спектрометрия (ICP-MS, Agilent 7500), классический химический анализ.

Параллельно с изучением геохимии вод изучались водовмещающие породы месторождений. Были выполнены: классический химический, спектральный, рентгеноструктурный и электронный микронзондовый анализы. Редко-земельные элементы в минералах проанализированы на ICP-MS. Для определения минерального состава и структурных особенностей пород применялась световая петрография. Особое внимание при минералогических анализах уделялось идентификации глинистых минералов,

которые определялись во фракции <0,001 мм рентгеноструктурным анализом, а так же электронной микроскопией с применением микро-дифракции электронов.

С целью исследования динамики поступления в воды макро- и микроэлементов и выявления их источников (минералов), впервые для месторождений углекислых минеральных вод Дальнего Востока были проведены лабораторные опыты по выщелачиванию. Для понимания процессов, происходящих в системе вода-порода, использовались программы, разработанные на основе термодинамических методов расчетов минеральных равновесий. В настоящей работе автор опирался на такие компьютерные программы как: AQUACHEM, WATERQ4F, PHREEQC.

Всего было исследовано 250 водных проб и 80 образцов водовмещающих пород.

**Глава 3. Геолого-гидрогеологические условия Приморской области углекислых вод.** В главе 3 приводится описание физико-географических и геолого-гидрогеологических условий рассматриваемой области. Приводится общая характеристика Приморской области углекислых минеральных вод (рис. 3.1).

Территориально, большая часть Приморской области углекислых минеральных вод расположена в Приморском крае, где выделяются три крупные орографические области: горная страна Сихотэ-Алинь, Восточно-Маньчжурское нагорье и разделяющая их Западно-Приморская равнина. Сихотэ-Алинь занимает более 70% территории. Анализ природно-климатических факторов Приморской области позволяет сделать следующие выводы:

- превышение количества выпавших осадков над испарением, хорошая расчлененность и дренируемость горной части территории приводит к образованию подземных вод низкой минерализации;
- химический состав атмосферных осадков, их слабоокислая реакция ведут к преобладанию в исходных подземных водах (зона аэрации, первые от

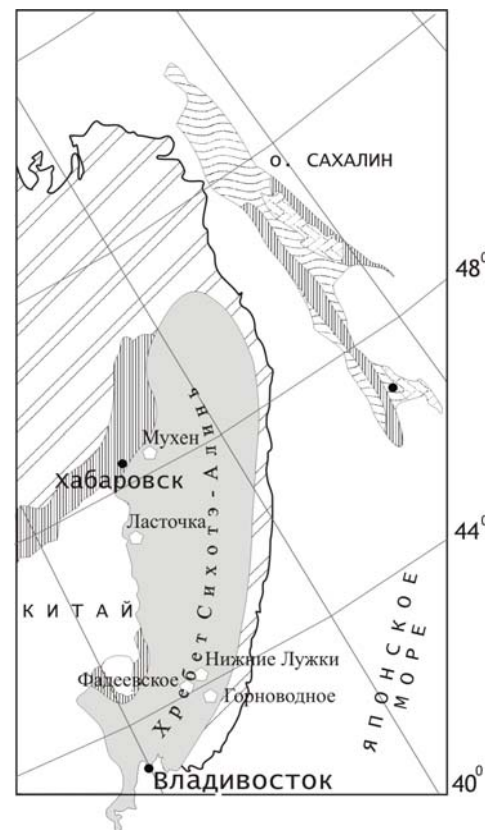


Рис. 3.1. Приморская область углекислых минеральных вод.

поверхности водоносные горизонты) гидрокарбонатов при низком содержании сульфатов;

- высокие уклоны поверхности, глинистый состав почв затрудняют питание подземных вод в горных районах (за исключением крупных речных долин).

Приморье отличается сложностью геолого-

гидрогеологической обстановки, наличием

разновозрастных и

разнотипных горных пород, широким развитием

разломной тектоники. Распространение подземных минеральных

вод контролируется, прежде всего особенностями геологического строения и историей развития территории, принимая во внимание немаловажное влияние климатических и орографических факторов.

Анализ геолого-гидрогеологических условий территории показал:

- в Приморье преимущественно распространены пресные подземные воды. В Сихотэ-Алиньском и Лаоелинь-Гродековском гидрогеологических массивах трещинных, трещинно-жильных вод, минерализация составляет 0,2-0,5 г/л; в Приморском сложном артезианском бассейне - 0,5-0,9 г/л. Скорость и интенсивность водообмена контролирует общую минерализацию подземных

вод;

- в центральных частях Сихотэ-Алиня запасы трещинных подземных вод незначительны (дебиты скважин не более 50-200 м<sup>3</sup>/сут). Максимальной водообильностью на склонах горной страны обладают граниты и эффузивы в зонах разрывных нарушений (дебиты скважин до 500 - 800 м<sup>3</sup>/сут);

- коллекторные свойства, проницаемость и емкостные характеристики резервуаров подземных вод зависят от литологии, возраста, степени литификации и трещиноватости водовмещающих пород. Зоны трещиноватости, связанные с разломами, наиболее проницаемы. Породы обводнены ниже местного и регионального базиса разгрузки подземных вод. Крупные структурные швы слабопроницаемы, залечены вторичными минералами. Наиболее водообильны оперяющие и субпараллельные им разломы;

- во всех выделенных гидрогеологических массивах минеральные воды распространены локально и приурочены к зонам активных разломов, прибрежным территориям, глубоким частям мезо-кайнозойских депрессий.

#### **Глава 4. Состав углекислых вод и водовмещающих пород месторождений Приморской области**

Изученные месторождения рассматриваются в работе от севера к югу относительно структуры Сихотэ-Алиня и вкрест простираения ее основных геолого-тектонических структур. На севере это зона сочленения складчатых структур Сихотэ-Алиня и Средне-Амурской наложенной кайнозойской депрессии (месторождение Мухен), в северо-западной части - Сихотэ-Алиня и Нижне-Амурской наложенной кайнозойской депрессии (месторождение Ласточка). Центральный Сихотэ-Алинь представлен Фадеевским месторождением, а восточный-месторождениями Нижние Лужки и Горноводное.

Ниже приведено краткое описание перечисленных месторождений и приведены результаты исследований по ним.

**Месторождение Мухен (Пунчинский участок)** расположено в районе им. Лазо Хабаровского края в бассейне р.Непту на нижней части левого склона долины р.Пунчи притока р. Мухен в 100 км к востоку от г. Хабаровска, в 30 км от п. Мухен.

Схема геолого-гидрогеологических условий Пунчинского участка Мухенского месторождения углекислых минеральных вод и особенности формирования запасов следующие:

-углекислые минеральные воды с минерализацией 0,4 – 1,7 г/л и высоким (избыточным) газонасыщением находятся в горизонте олигоцен-миоценовых отложений, перекрытом сверху мощным базальтовым чехлом. В ненарушенных условиях разгрузка происходит только в местах выхода водовмещающих пород из под базальтового покрова;

-углекислые минеральные воды с минерализацией 5-14,3 г/л распространены в верхнетриасово-юрских трещиноватых породах, связанных с крупным разломом, по которому происходит внедрение углекислоты;

- поровые и трещинные коллекторы подземных вод имеют гидравлическую связь, тесно взаимодействуют между собой и образуют единую сложную водонапорную систему;

-базальтовый покров является водо-газоупором и вызывает в естественных условиях формирование «газовой шапки» (Батюков, 1974);

-гидрогеологические и гидрогеохимические условия формирования химического состава минеральных вод различной минерализации существенно отличаются.

Формирование гидрокарбонатных кальциево-магниевых углекислых вод Мухена происходит в условиях интенсивного водообмена в результате взаимодействия метеорных вод с покровами олигоцен-миоценовых базальтов. Обогащение микрокомпонентами (Sr, Ba, Mn, SiO<sub>2</sub>, Al, Fe)

данного типа вод вызвано их выщелачиванием из алюмосиликатов, слагающих толщу базальтового покрова. Также источником кальция в водах является карбонатный цемент осадочных пород. Воды находятся на стадии первичного накопления кальция.

Удаление Si из раствора происходит путем осаждения вторичного кварца, который заполняет трещины. Обогащение вод Fe, Co и Ni вызвано высоким содержанием этих элементов в базальтах. Гидрокарбонатные натриевые воды имеют метеорное происхождение. Образование  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  вод происходит в условиях замедленного водообмена при эволюции  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  вод в глубину, где реагируя с водовмещающими породами (сланцами, песчаниками, интрузиями гранитов), состав вод преобразуется. На пути

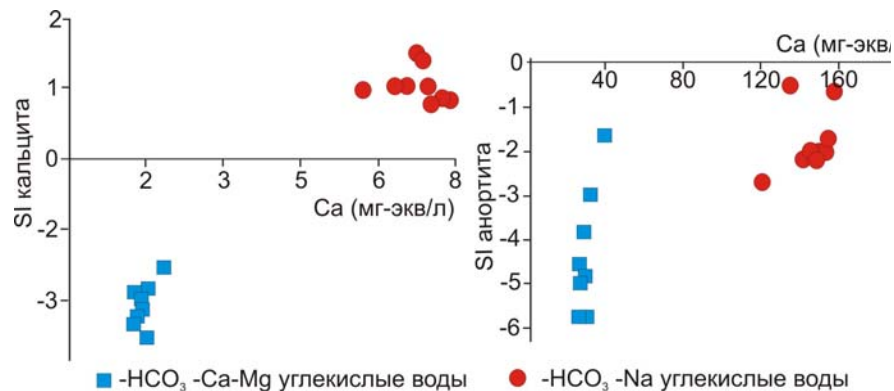


Рис. 4.1 Зависимость значений индексов насыщения от содержаний элемента в водах.

своего преобразования воды проходят карбонатный барьер. Удаление кальция с образованием карбонатных минералов, способствует накоплению натрия в водах (рис. 4.1). Уменьшение содержания кремнезема по мере роста минерализации вод также подтверждает образование глинистых минералов. Увеличение минерализации исследованных вод с глубиной связано с поступлением в них мантийного углекислого газа по крупным тектоническим нарушениям и, как следствие, увеличение агрессивной природы вод на глубине.

**Месторождение Ласточка** расположено на севере Приморского края в Пожарском районе, в юго-западной части обширной Бикино-Уссурийской низменности, в 30 км к югу от г. Лучегорск.

Определяющими признаками месторождения являются:

- рельеф в районе месторождения равнинный. Глубина эрозионного вреза около 4 м;
- месторождение расположено на борту кайнозойской депрессии, в ее фундаменте;
- месторождение имеет локальный (очаговый характер) и контролируется активным участком разлома, являющегося частью сложной сети нарушений, по периферии депрессии;
- водовмещающими являются трещиноватые в верхней зоне выветривания и зоне разлома осадочные морские породы юрского возраста. Ширина (мощность) зоны дробления, сопровождающей разлом не превышает 50 м. Протяженность активной зоны разлома (выводящей углекислый газ и минеральную воду не превышает 100 м;
- месторождение экранировано с поверхности толщей глин мощностью до 28

м. Воды слабо напорные.

- воды месторождения гидрокарбонатные, натриево-кальциево-магниево-натриевые, с подавляющим преобладанием натрия (рис.

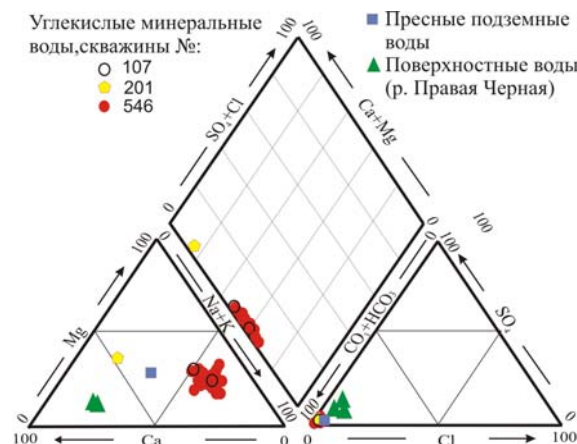


Рис. 4.2 Химический состав вод месторождения Ласточка

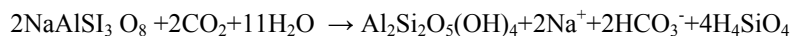
4.2). Формирование гидрокарбонатных кальциево-магниево-

натриевых углекислых вод происходит в условиях замедленного водообмена

в результате взаимодействия метеорных вод с осадочными породами среднеюрского возраста.

Водовмещающие породы содержат большое количество плагиоклазов и калиевых полевых шпатов, т.е. минералов способных поставлять в воду натрий, алюминий, кремний и калий. Изучение пород под микроскопом показало, что: калиевый полевой шпат представлен ортоклазом с небольшими содержаниями Na (0.4-1.2 Na<sub>2</sub>O), Ba (более 0.55%) и Fe (более 0.42%); плагиоклаз – альбитом с содержанием Ca (0- 2.7 % CaO) и K (0 – 3.54 % K<sub>2</sub>O). Выявлены участки полного замещения плагиоклаза каолинитом и карбонатами. Таким образом, для рассматриваемых пород характерны реакции по следующим общим схемам:

Альбит → Каолинит, гидрослюды



В результате реакции идет обогащение подземных вод гидрокарбонатами, натрием и кремнекислотой. В породе в этом случае остаются все те химические элементы, на которые мы обратили внимание при рассмотрении химического состава пород: кремний, алюминий, калий. Расчеты индекса насыщения (SI) показали, что воды пересыщены кварцем (1,3), халцедоном(0,7), кальцитом (0,6), доломитом (1,1), сидеритом (1,4), глинистыми минералами–као линитом (4,2), смектитом (3,8), и недосыщены по отношению к анортиту (-5,8) и другими алюмосиликатами. Таким образом, воды прошли карбонатный барьер, и кальций осаждается из раствора при образовании карбонатных минералов, что способствует накоплению натрия в водах.

**Месторождение Фадеевское.** расположено в Чугуевском районе Приморского края, в 10 км восточнее с. Булыга-Фадеево, в пределах центральной части горной страны Сихотэ-Алинь.

Месторождение Фадеевское характеризуется следующими основными признаками:

- рельеф в районе месторождения горный, долина второстепенной реки. Эрозионный врез достигает 600 м;
- месторождение локализуется вблизи оперяющего разлома. Ширина (мощность) зоны дробления, сопровождающей разлом, до 20 м. Протяженность активной выводящей углекислый газ и минеральную воду зоны разлома не более 40 м;
- месторождение имеет локальный (очаговый характер) и контролируется активным участком оперяющего разлома, сбросового характера. Тектоническая активизация сопровождалась внедрением базальтов в палеоген-неогене;
- водовмещающими являются трещиноватые в зоне разлома песчаники, алевролиты, кремнистые породы верхнемелового возраста и верхняя трещиноватая зона обусловленная процессами выветривания;
- месторождение перекрыто с поверхности гравийно-щебнистыми породами мощностью до 5 м. Воды слабо напорные и безнапорные.
- воды месторождения гидрокарбонатные, кальциево-магниево-натриевые, с подавляющим преобладанием кальция с минерализацией 0,4-0,6 г/л.

Формирование химического и газового состава минеральных вод происходит на ограниченном участке в зоне активного водообмена, зоны питания и зоны разгрузки очень близки. В этих условиях в части потока пресных подземных вод сформировалась область минеральных вод, насыщенных углекислым газом. За счет выделения спонтанного газа, наблюдается повышенный напор, который обусловил естественный выход минеральных вод на поверхность. Взаимодействие вода-порода-CO<sub>2</sub> по времени очень ограничено. Минеральные воды недонасыщены ни к карбонатам SI<0, ни к первичным алюмосиликатам SI<<0 (рис. 4.3).

В породах отмечено преобладание натрия над кальцием (Na<sub>2</sub>O – 2,83 масс.%; CaO- 1,27 масс.%), тем не менее в них формируются кальциевые



воды с минерализацией до 1,0 г/л.

Основным фактором, влияющим на минерализацию вод в таких условиях, является давление углекислого газа. Расчет коэффициента водной миграции (Перельман, 1972) показал, что условная скорость выноса химических элементов относительно их среднего содержания в водовмещающих меловых уменьшается в ряду Ca-Mg-Na-Fe, что свидетельствует о низкой степени выветривания водовмещающих пород месторождения.

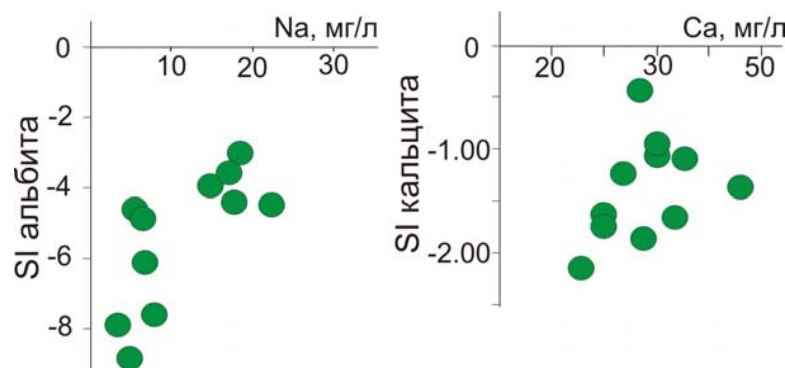


Рис. 4.3 Зависимость значений индексов насыщения от содержания элементов в водах.

**Месторождение Нижние Лужки** находится в Чугуевском районе Приморского края в 2,5 км к северо-западу от с. Нижние Лужки, на восточном склоне Сихотэ-Алиня.

По геолого-гидрогеологическим условиям месторождение характеризуется следующими основными признаками:

- рельеф в районе месторождения горный, долина реки. Эрозионный врез до 600 м;
- месторождение расположено в вулканогенной структуре и локализуется вблизи оперяющего разлома. Ширина (мощность) зоны дробления, сопровождающей разлом, составляет 10-20 м. Протяженность активной выводящей углекислый газ и минеральную воду зоны разлома не более 80 м;

- месторождение имеет локальный (очаговый) характер и контролируется активным участком оперяющего разлома сбросового характера. Тектоническая активизация сопровождалась внедрением базальтов в палеоген-неогене;
- водовмещающими являются трещиноватые в зоне разлома туфы, туфолавы среднего состава верхнемелового возраста и верхняя трещиноватая зона, обусловленная процессами выветривания;
- месторождение перекрыто с поверхности гравийно-щебнистыми породами мощностью до 5 м. Воды слабо напорные и безнапорные;
- воды месторождения гидрокарбонатные, кальциево-натриевыми, с подавляющим преобладанием кальция.

Месторождение находится в зоне активного водообмена, близости зон питания и зоны разгрузки. Характеризуется небольшой площадью, ограниченной активной частью разлома, подводящего CO<sub>2</sub>. Таким образом, взаимодействие

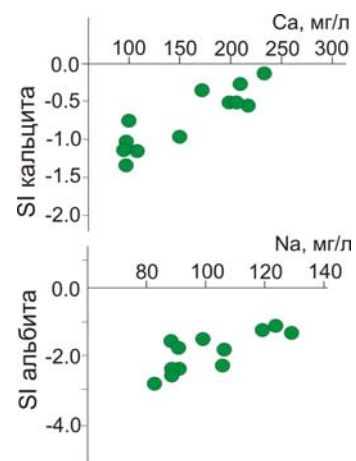


Рис. 4.4 Зависимость значений индексов насыщения от содержания элементов в водах.

вода-порода-CO<sub>2</sub> по времени очень ограничено. Как показали исследования водовмещающих пород, гидрокарбонатные, натриево-кальциевые воды с минерализацией до 1,5 г/л формируются в породах, где содержания натрия преобладают над содержаниями кальция (Na<sub>2</sub>O – 3,06 масс.%; СаО- 1,63 масс.%). С помощью термодинамических расчетов установлено, что минеральные воды пересыщены кварцем и монтмориллонитом, но недосыщены ни к карбонатам SI<sub>кальцита</sub> < 0, ни к первичным алюмосиликатам SI<sub>анортита</sub> << 0 (рис. 4.4).

Полученные коэффициенты водной миграции показали, что в данных

геохимических условиях миграционная способность химических элементов убывает в ряду: Ca, Na, Fe и Mg, указывая на низкую степень выветривания водовмещающих пород.

Лабораторные экспериментальные исследования по выщелачиванию

**Таблица 4.1** Химические анализы вод месторождения Горноводное

Показатель	Участки				Скв.20	р. Солонцовая
	Северный Скв. 37в	Центральный Скв.10082	Южный Скв.66	Юргановский Скв.8ц		
	Минеральные воды					
Минерализация, г/л	1,4-1,6	2,2-2,5	2,5-3,5	2,4-2,6	0,2	0,04-0,08
pH	6,54	6,60	6,46	6,36	6,4	6,97
HCO <sub>3</sub> мг/л	1030-1110	1600-1750	1800-2240	1750-2100	97,6	24,4-61,0
Ca, мг/л	260-280	405-470	440-530	430-490	8,04	4,04-8,04
Mg, мг/л	12-37	15-30	24-70	22-67	2,44	0,0-9,7
Na+K, мг/л	42-67	80-105	57-140	81-155	7,34	3,3-8,02
Fe <sup>2+</sup> , мг/л	7-16	10-32	5-135	9-27	1,0	0,3
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , мг/л	60-83	44-90	70-135	70-105	30,0	7,0-21,0
CO <sub>2</sub> мг/л	1050-2550	1320-3285	536-3000	1249-3140	17,6	26,4

химических элементов из водовмещающих пород месторождения Нижние Лужки позволили наглядно проследить основные факторы влияющие на формирование химического состава минеральных вод (Чепкая, 2001; Челноков Г.А., 2001).

**Месторождение Горноводное** - крупнейшее на восточном склоне Сихотэ-Алиня, находится в Ольгинском районе Приморского края в 60 км от районного центра – п. Ольга, в пределах горной страны Сихотэ-Алинь, в долине небольшой реки Солонцовая.

В целом формирование Горноводного месторождения имеет следующие характеристики:

- рельеф горный, долина второстепенной реки. Эрозионный врез достигает 300-500 м;
- месторождение расположено в вулканогенной наложенной структуре, ограниченной разломами. Ширина (мощность) зоны дробления,

сопровождающей разлом до 300 м. Протяженность активных выводящих углекислый газ и минеральную воду зон разлома достигает 1000 м;

- месторождение имеет локальный (очаговый характер) и контролируется активными участками секущих разломов сдвигового характера. Тектоническая активизация сопровождалась внедрением гранитоидов в палеоген-неогене;

- водовмещающими являются трещиноватые туфы, туфолавы среднего состава верхнемелового возраста. Открытая трещиноватость имеет локальный характер в зонах растяжения разлома;

- месторождение перекрыто с поверхности закольматированной зоной выветривания мощностью до 30 м. Воды слабо напорные и безнапорные;

- воды месторождения гидрокарбонатные, кальциево-натриевые, с подавляющим преобладанием кальция (Табл. 4.1).

Как показали исследования водовмещающих пород гидрокарбонатные, кальциево-натриевые воды с минерализацией до 2,8 г/л формируются в породах, содержащих примерно вдвое больше кальция, чем натрия. Карбонаты отмечены в породе в незначительных количествах.

Термодинамические расчеты показали, что минеральные воды практически достигли равновесия с карбонатами  $SI_{\text{кальцита}} = -0,5$ , но недосыщены к первичным алюмосиликатам  $SI_{\text{анортита}} = -7,5$ ;  $SI_{\text{альбита}} = -2,4$ . Коэффициент водной миграции уменьшается от Ca, Na к Mg. Интенсивность миграции кальция возрастает с увеличением глубины, а в верхних частях разреза увеличивается водная миграция натрия. Это говорит о том, что процессы выветривания пород наиболее активно протекают в верхней трещиноватой зоне.

Анализ данных, полученных по различным участкам Горноводного Месторождения, показал, что наиболее важным фактором, определяющим различие состава минеральных вод на них, является время взаимодействия или степень открытости системы вода-порода-газ.

## Глава 5. Особенности формирования месторождений углекислых минеральных вод Приморской области и их химического состава

В данной главе рассмотрены основные схемы формирования месторождений углекислых минеральных вод Приморской области, данные экспериментальных лабораторных исследований систем вода-порода и вода-порода- $\text{CO}_2$  и результаты изучения содержаний редкоземельных элементов.

Анализ данных по месторождениям углекислых минеральных вод юга Дальнего Востока показал, что выделяются три основные схемы их формирования (рис. 5.1).

Первая схема объединяет месторождения, формирующиеся в верхней трещиноватой зоне коренных пород (скальных) и локализующихся вокруг активных частей разломов, выводящих углекислый газ. Месторождения занимают приводораздельные территории горных сооружений, часто прорезанные небольшими распадками и долинами рек, которые оказывают интенсивное дренирующее воздействие.

Месторождения, формирующиеся в поровых коллекторах, отнесены ко второй схеме. Это аллювиальные горизонты значительной мощности (более

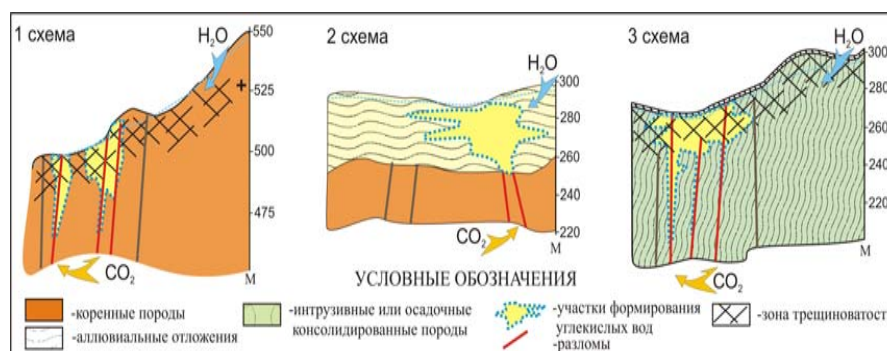


Рис. 5.1 Схемы формирования месторождений углекислых вод Приморской области (20 м), распространенные над выходом активной части разлома, подводящего углекислый газ.

По третьей схеме месторождения формируются в верхней трещиноватой зоне интрузивных и осадочных консолидированных пород, имеющих

площадное распространение и относительно спокойное залегание, но также контролируются выходами активных частей разломов в приповерхностную зону.

Тектоническая структура месторождений, наличие проницаемых или непроницаемых разломов, наличие либо отсутствие перекрывающих месторождение глинистых пород приводит к сокращению или увеличению времени взаимодействия вода-порода- $\text{CO}_2$ . Это явление приводит к формированию вод различной минерализации, не нарушая общей гидрогеохимической обстановки региона.

Проведенные лабораторные эксперименты позволили ближе подойти к решению вопросов формирования химического состава природных углекислых минеральных вод. Результаты экспериментов и исследований на природных объектах показали, что процессы формирования химического состава месторождений пресных подземных вод и углекислых минеральных вод одинаковы по своей направленности. В основе формирования ионного состава воды лежит химический и минеральный состав пород вмещающих воду. Присутствие в опыте диоксида углерода увеличивает скорость протекания реакций. На основе вышеизложенного, среди основных факторов, играющих роль в формировании химического состава углекислых минеральных вод, можно выделить следующие: 1) давление углекислоты, обуславливающей кислотно-основные и окислительно-восстановительные условия среды; 2) трещиноватость пород и минералов (время и объем взаимодействия); 3) минеральный состав пород.

В результате опытов в системе вода-порода-газ были достигнуты природные концентрации Cr, Pb и Cu. Установлено, что концентрации Pb и Cu в водах регулируются процессами сорбции на глинистые минералы и соосаждением с окислами железа.

Исследования редкоземельных элементов (РЗЭ) показывают, что поступление РЗЭ в воду происходит при растворении плагиоклазов, калиевых полевых шпатов и пироксенов, несмотря на то, что наиболее

высокие концентрации РЗЭ наблюдаются в акцессорных минералах (циркон, сфен, монацит и др.). Это объясняется тем, что в зоне гипергенеза устойчивость акцессорных минералов к растворению выше, чем породообразующих. Различия в концентрациях легких РЗЭ в несколько раз выше, чем в тяжелых РЗЭ. Положительная корреляция гидрокарбонат-иона с РЗЭ свидетельствует о том, что в миграции РЗЭ углекислых вод большую роль играют комплексы с  $\text{HCO}_3^-$ , а для легких РЗЭ и с окислами железа.

На рисунке 5.2 приведены профили РЗЭ исследуемых вод. Содержание тяжелых РЗЭ во всех типах изученных вод выше, чем легких, что свидетельствует о большей мобильности тяжелых РЗЭ и устойчивости комплексов тяжелых РЗЭ с  $\text{HCO}_3^-$  в водах. Как видно на рис. 5.2, основной контроль концентраций растворенных РЗЭ осуществляется рН. Увеличение рН приводит к уменьшению концентраций РЗЭ, вследствие этого в слабощелочных водах их концентрации ниже, чем в нейтральных.

Исследованы содержания РЗЭ в образцах водовмещающих пород

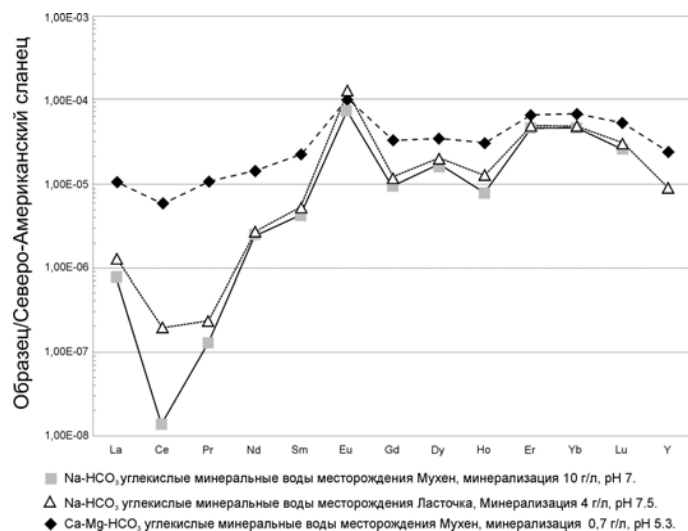


Рис. 5.2 Содержания РЗЭ в углекислых водах

месторождения Ласточка. Образцы сильно обогащены легкими РЗЭ и имеют небольшие содержания тяжелых РЗЭ.

Результаты исследований позволили сделать следующие выводы: формирование углекислых минеральных вод Приморской области происходит по схеме метеорные воды → взаимодействие вода-порода-газ; каждое месторождение характеризуется своими особенностями в зависимости от конкретных геолого-гидрогеологических условий; в основе формирования ионного состава воды лежит равновесно-неравновесное состояние системы вода-порода-газ, обуславливающее приток в раствор одних элементов и удаление других, в виде вторичных минеральных фаз.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования месторождений углекислых вод Сихотэ-Алинской складчатой системы позволяют сделать следующие выводы.

Проявления холодных углекислых минеральных подземных вод локализируются в пределах Сихотэ-Алинской гидрогеологической провинции (Сихотэ-Алинский и прилегающие области Приморского гидрогеологического массива) приурочены к зонам позднемезозойской и кайнозойской тектоно-магматической активизации и глубинным разломным зонам, подводящим углекислый газ. Углекислые минеральные воды распространены в верхней трещиноватой части разреза на участках, приуроченных к активным частям разломных зон.

Уникальный химический состав углекислых минеральных вод юга Дальнего Востока формируется в результате взаимодействия в системе метеорные воды - водовмещающие породы – углекислый газ. Слабоминерализованные (до 1 г/л) углекислые минеральные воды имеют преимущественно гидрокарбонатный кальциевый или гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав и формируются в условиях интенсивного водообмена и недосыщены по отношению к карбонатным минералам. Углекислые гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией более 3 г/л, формируются при

взаимодействии метеорных вод с массивно-кристаллическими и осадочными породами в условиях замедленного водообмена и перенасыщены по отношению к карбонатным минералам, каолиниту и др.

Проведенными исследованиями, включая лабораторные эксперименты, были установлены основные факторы формирования химического состава углекислых минеральных вод Приморской области: 1) давление углекислоты; 2) трещиноватость пород и минералов (время и объем взаимодействия); 3) минеральный состав пород. Неравновесное состояние системы вода-порода-газ обуславливает направление и скорость процессов. Вода неравновесна к алюмосиликатам, а наличие постоянного градиента по CO<sub>2</sub> увеличивает скорость реакций и способствует наиболее интенсивному извлечению химических элементов из водовмещающих пород.

#### СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Челноков Г.А., Чудаев О.В. Анализ изменения горных пород под действием минеральных вод в долине реки Солонцовая месторождения Горноводное, Молодежь и научно-технический прогресс. Материалы региональной научной конференции. Владивосток, 1998, с. 89
2. Челноков Г.А., Чудаев О.В., Зиньков А.В. Подземные пресные и минеральные воды Шмаковского месторождения, Молодежь и научно-технический прогресс. Материалы третьего международного студенческого конгресса стран Азиатско-Тихоокеанского региона, Владивосток, ДВГТУ, 1999, с. 148
3. Челноков А.Н., Челноков Г.А. Геологическая характеристика месторождения минеральных вод Шмаковка// Сб. «Шмаковские минеральные воды», Владивосток, 1999, с. 82-101
4. Челноков Г.А., Чепкая Н.А. Гидрогеохимическое исследование месторождения минеральных вод Нижние Лужки // Сб. Геология и горное дело в Приморье в прошлом, настоящем и будущем, Дальнаука, 2000, с. 92-93
5. Tchepkaja N. A., Tchelnokov G. A., Hydrochemistry of underground waters from Shmakovka area. Far East of Russia, Primorye region/ Abstract, 31st IGC 2000 г. Brazil
6. Челноков Г.А., Чепкая Н.А., Pekdeger A. Гидрохимическая характеристика месторождения углекислых минеральных вод Нижние Лужки // Сб. Бальнеоресурсы Дальнего Востока, Владивосток, 2001, с. 54-66
7. Чепкая Н.А., Челноков Г.А., Pekdeger A. Источники и формы миграции микроэлементов в минеральных водах месторождения Нижние Лужки // Сб. Бальнеоресурсы Дальнего Востока, Владивосток, 2001, с. 66-73
8. Челноков Г.А., Чепкая Н.А. Формирование углекислых минеральных вод Мухенского месторождения (Хабаровский край), Материалы Первой Сибирской международной конференции молодых ученых по Земле, Новосибирск, 2002, с.164.
9. Tchepkaja N. A., Tchelnokov G. A., The sources of elements into Shmakovka groundwater (Primorye region). Материалы шестого международного симпозиума им. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2002, с. 62-64
10. Челноков А.Н., Челноков Г.А., Месторождения углекислых вод Приморья, Материалы совещания «Гидрогеология и гидрогеохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока», Владивосток, 2003, с.60-68
11. Чепкая Н.А., Челноков Г.А., Чудаев О.В. Генезис холодных углекислых минеральных вод месторождения Мухен (Дальний Восток России), Материалы совещания «Гидрогеология и гидрогеохимия вод складчатых областей Сибири и Дальнего Востока», Владивосток, 2003, с.69-80
12. Челноков А.Н., Челноков Г.А., Новые данные о химическом составе и формировании углекислых минеральных вод Горноводного месторождения в Приморском крае, Материалы XVII Всероссийского 9 совещания «Подземные воды Востока России», Красноярск, 2003

13. Чепкая Н.А., Челноков Г.А., Происхождение Na-HCO<sub>3</sub> вод на Мухенском месторождении (Хабаровский край), Материалы XX Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, 2003, с 245
14. Челноков Г.А., Чепкая Н.А., Гидрохимическая характеристика углекислых минеральных вод месторождения Мухен, Материалы XVII Всероссийского совещания «Подземные воды Востока России», Красноярск, 2003, с. 88-90
15. Елисафенко Т.Н., Чепкая Н.А., Тарасенко И.А., Челноков Г.А., Геоэкологические последствия ликвидации шахт Партизанского угольного бассейна, Материалы конференции «Сергеевские чтения», вып. 5, Москва, 2003, с. 250
16. Чепкая Н.А., Челноков Г.А., Происхождение Na-HCO<sub>3</sub> вод на Мухенском месторождении (Хабаровский край), Материалы XX Всероссийской молодежной конференции, Иркутск, 2003, с 245
17. Чепкая Н.А., Челноков Г.А., Чудаев О.В., Киселев В.И. Геохимия и генезис Na-HCO<sub>3</sub> минеральных вод месторождения Ласточка (Приморский край): В Сб. Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии, Томск, 2004, с.189-194.
18. Челноков Г.А., Челноков А.Н., Чепкая Н.А. Особенности формирования месторождений углекислых минеральных вод Приморья// VII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле».Т.4 - Москва, 2005, с. 153
19. N.A.Tchepkaia, G.A.Chelnokov, O.V.Chudaev, V.A.Chudaeva Hydrochemical evolution of the Na-HCO<sub>3</sub>-type of groundwater from northern Sikhote-Alin (Far East Russia) // Proceedings of the 11th international symposium on WRI-11. A.Balkema Publishers, 2004, v.1, p. 203-207
20. Tchepkaia N.A., Chelnokov G.A., Kiselev V.I., Chudaev O.V. Water-rock interaction and origin of Na-HCO<sub>3</sub> type of groundwater in the Lastochka spa

- (Primorye region, Russia), Proceeding of the Interim IAGOD Conference: Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, Magmatism and metallogeny of Active Continental Margins, Vladivostok, Dalnauka, 2004, p. 672-676.
21. Tchepkaia N.A., Chelnokov G.A. Groundwater chemistry and origin of Na-HCO<sub>3</sub> type of water from Northern Primorye (Russia)// Proceedings of the 15th Annual Goldschmidt conference, USA, Moscow, 2005.
22. Chelnokov G.A., Tchepkaia N.A. The geochemistry of rare earth elements in groundwater from northern Sikhote-Alin (Far East of Russia)// Proceedings of the 15th Annual Goldschmidt conference, USA, Moscow, 2005.
23. Chudaeva V.A., Chudaev O.V., Sugimory K., Matsuo M., Kuno A., Yurchenko C.G., Chelnokov G.A. Hydrochemistry of the Baransky volcano area // The VII International Interdisciplinary Scientific Symposium “Regularities of the Structure and Evolution of Geospheres”( RSEG – VII), Vladivostok, 2005, p. 314-318.
24. Chudaeva V.A., Chudaev O.V., Melkyi V.A., Yurchenko C.G., V.P.Shersterkin, Chelnokov G.A. Specific features of the snow chemical composition on the territory of the southern Far East (by the data of 2004)// The VII International Interdisciplinary Scientific Symposium “Regularities of the Structure and Evolution of Geospheres”( RSEG – VII), Vladivostok, 2005, p. 310-314.
25. Tchepkaia N.A., Chelnokov G.A., Kiselev V.I., Karabtsov A.A. Na- HCO<sub>3</sub> mineral water from the Northern Primorye, Far East of Russia: origin and evolution// The VII International Interdisciplinary Scientific Symposium “Regularities of the Structure and Evolution of Geospheres”( RSEG – VII), Vladivostok, 2005, p. 305-309
26. Tchepkaia N.A., Chelnokov G.A., Karabtsov A.A., Tarasentko I.A. Hydrochemical evolution of the Na-HCO<sub>3</sub> type groundwater from northern Sikhote-Alin (Far East Russia)// Proceeding of the Seventh International Symposium on the Geochemistry of the Earth’s Surface, France, 2005, p. 187-192

**Челноков Георгий Алексеевич**

**УГЛЕКИСЛЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ СИХОТЭ-АЛИНЯ  
(СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ)**

Автореферат диссертации

Отпечатано по оригинал-макету  
подготовленному соискателем,  
минуя редподготовку.

Вне плана.

Подписано в печать 14.11.05 г., Формат 60X84/16

Усл.-печ.л. 1,05 Уч.-Изд.л. 1,13

Тираж 100 экземпляров.

Заказ № 265

Издательство Дальневосточной государственной академии

Экономики и управления

Участок оперативной полиграфии

690950, г. Владивосток, ул. Океанский пр-т 19,

тел. (4232) 40-66-35, e-mail: rio@mail.fesaem.ru