

На правах рукописи

**Дутова Екатерина Матвеевна**

**ГИДРОГЕОХИМИЯ ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА  
АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 25.00.07.- Гидрогеология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

Томск – 2005

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный консультант: доктор геолого - минералогических наук,  
профессор Степан Львович Шварцев

Официальные оппоненты:

доктор геолого - минералогических наук,  
профессор Борис Иосифович Писарский

доктор химических наук,  
профессор Борис Николаевич Рыженко

доктор геолого - минералогических наук,  
профессор Лазарь Сигизмундович Табаксблат

Ведущая организация: Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

Защита состоится " 17 " октября 2005 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.03 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, г.Томск, проспект Ленина, 30, корп. 1, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " сентября 2005 г.

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

О.Г. Савичев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследований.** Приповерхностная часть земной коры, в которой протекают низкотемпературные геологические процессы и которая академиком А.Е.Ферсманом была определена понятием “зона гипергенеза”, все более привлекает внимание исследователей самого широкого профиля. Практически все процессы в ней протекают с участием подземных вод, которые, являясь активной составляющей геологической среды, участвуют в преобразовании, миграции и концентрировании вещества и, преобразуясь сами, служат носителями информации, необходимой для принятия тех или иных научных и инженерных решений. С их участием происходит разрушение существующих и формирование новых месторождений полезных ископаемых. Именно в этой зоне формируются пресные и слабоминерализованные воды, используемые для водоснабжения и являющиеся стратегическим сырьем – важнейшим пищевым продуктом, обеспечивающим существования человека. Вместе с тем, зона гипергенеза - это активно эксплуатируемая, легко уязвимая и наиболее подверженная техногенному воздействию часть геологических недр, от состояния которой в значительной мере зависит экологическая безопасность территории.

Учитывая уникальную значимость подземных вод зоны гипергенеза, представляется чрезвычайно актуальным и важным изучение их химического состава и происходящих с их участием процессов. Эти вопросы относятся к сфере интересов гидрогеохимии зоны гипергенеза – активно развивающегося научного направления, современные подходы которого базируются на идеях о равновесно-неравновесном характере, самоорганизации и стадийности эволюционных преобразований в системе вода – порода. Развитие этих научных представлений и расширение возможностей компьютерного моделирования создают новую методологическую основу для выявления закономерностей и механизмов формирования гипергенных продуктов (состава воды и минеральных новообразований) и количественной оценки геологической деятельности подземных вод. В рамках этой проблемы, входящей в число приоритетных направлений науки, и определена постановка данной работы, а Алтай-Саянский регион и прилегающие территории Западной Сибири выбраны в качестве объекта исследований как представляющие особый интерес с позиций разнообразия природных ландшафтно-климатических и геолого-структурных условий.

**Цель исследований.** Установить особенности геохимии и формирования состава подземных вод зоны гипергенеза Алтай-Саянской складчатой области и ее платформенного обрамления на количественном уровне с использованием современных методов обработки информации и приемов физико-химического моделирования.

### **Задачи исследований:**

1. Выявить закономерности изменчивости химического состава подземных вод на региональном и локальном уровнях в природных и природно-техногенных условиях.
2. Установить формы миграции основных макро и микроэлементов в различных типах подземных вод.
3. Оценить характер и степень равновесия подземных вод с широким спектром минералов (алюмосиликатов, карбонатов, сульфатов, хлоридов, оксидов и гидроксидов).
4. Установить минеральный состав образующейся вторичной твердой фазы и изменчивость содержаний химических элементов в водах в ходе эволюции системы "вода–порода", оценить масштабы гипергенных преобразований.

5. Выявить закономерности формирования парагенезисов современных гипергенных образований (геохимических типов подземных вод и ассоциаций минералов равновесной вторичной твердой фазы) и оценить возможное воздействие на них некоторых факторов техногенеза.

6. Оценить роль подземных вод в мобилизации и концентрировании рудогенных элементов в зоне гипергенеза (на примере золота).

**Исходные материалы и методы исследований.** Решение поставленных задач основано на результатах многолетних, начиная с 1978 г., исследований, выполнявшихся в рамках инициативной, хоздоговорной и госбюджетной (по заданиям Минобрразования РФ, конкурсам грантов и проектам научно-исследовательских программ различного уровня) тематики научно-исследовательских работ Томского политехнического университета, Томского государственного архитектурно-строительного университета и Томского филиала Института геологии нефти и газа СО РАН, в которых автор принимал непосредственное участие. Под руководством и при непосредственном участии автора в ряде золоторудных районов Салаира, Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна на площади 3000 км<sup>2</sup> проведены гидрогеохимические съемки и гидрогеохимические исследования в горных выработках, опробовано порядка 4 тысяч водопроявлений. Изучались макро- и микрокомпонентный, газовый, органический, микробиологический, изотопный состав вод и вещественный состав природных и природно-техногенных вторичных минеральных новообразований.

В работе использованы опубликованные источники, а также фондовые материалы геологических организаций, в т.ч. базы данных гидрогеологической информации Томской, Кемеровской, Новосибирской областей, Красноярского края, Республики Хакасия и Республики Алтай, любезно предоставленные автору для использования в научных целях.

Методологически исследования базируются на фундаментальных законах термодинамики и физической химии, положениях о причинно-следственных связях ведущих природных факторов и параметров химического состава подземных вод, современных научных представлениях об эволюции системы "вода-порода".

Для хранения, обобщения и обработки информации и картографических построений использовались методы математической статистики и ГИС технологий, реализованные в пакетах программ EXCEL, Statistica, Surfer, MapInfo, ArcView, приемы морфоструктурно-гидрогеологического анализа, а также физико-химические расчеты и моделирование с использованием пакетов программ Селектор-С и HG32.

Исследования состава подземных вод и твердых минеральных фаз выполнены с применением современных сертифицированных аналитических методов в лабораториях и аналитических центрах ТПУ, ТГАСУ, ТГУ, СНИИГГиМС, ОИГГиМ СО РАН, геологических организаций региона.

#### **Защищаемые положения:**

1. Основные закономерности распространения, миграции, геохимии подземных вод и формирования гипергенных продуктов определяются ландшафтными и гипсометрическими условиями, типами гидрогеологических структур, составом водовмещающих пород и интенсивностью водообмена. С физико-химических позиций, совокупное влияние этих факторов определяет режимы взаимодействий в системе "вода-порода" и их продолжительность. Закономерная изменчивость состава подземных вод прослеживается как на региональном, так и на локальном уровнях, а характеристики гидродинамического и гидрогеохимического полей поддаются функциональному описа-

нию через параметры рельефа и количественные оценки других природных факторов.

2. Неотъемлемой частью формирования химического состава подземных вод является вторичное гидрогенное минералообразование. Минералы равновесной вторичной фазы выводят из подземных вод элементы, лимитируя уровень их накопления в водах. Подземные воды региона неравновесны с первичными алюмосиликатными минералами и равновесны со многими вторичными алюмосиликатными, гидроокисными, силикатными, карбонатными и сульфатными минералами. Спектр минералов равновесной вторичной фазы расширяется по мере эволюции системы вода – порода и степени преобразования породы, а в природных условиях от гольцовых, горно-луговых ландшафтов и ландшафтов заболоченной средней тайги к горно-таежным, лесостепным и степным ландшафтам.

3. Парагенетические ассоциации современных гипергенных продуктов (геохимических типов вод и ассоциаций минералов равновесной твердой фазы, формирующихся в единстве) подчиняются вертикальной и широтной зональности распространения. Эволюционные преобразования геохимических типов вод, характеризующиеся переходом от  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ,  $(\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg})$  к  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  и к  $\text{SO}_4\text{-Mg}$ ,  $\text{SO}_4\text{-Ca}$ ,  $\text{SO}_4\text{-Na}$ ,  $\text{Cl-Na}$  составам, происходят благодаря последовательному накоплению в них типопределяющих элементов с повышенной растворимостью их соединений и присущи водам любого генезиса (природного, природно-техногенного, техногенного). Вторичное гидрогенное минералообразование может протекать как с резкими перепадами, так и без существенных изменений или стабилизацией содержания химических элементов в растворе. Отсутствие резких изменений в содержании минералообразующих химических компонентов наиболее характерно для элементов – комплексообразователей.

4. Рудогенные элементы на определенном этапе развития системы вода–порода, достигая минералообразующих величин, способны формировать собственные вторичные минералы даже из фоновых вод. Масштабы концентрирования элементов зависят от минералообразующей способности и количества вод, участвующих в минералообразовании, и длительности процесса. Применительно к золоту, химически наиболее инертному элементу, при наличии его крупных самородных выделений в гипогенных источниках геологическая роль подземных вод сводится к разрушению минералов–носителей золота, а гипогенные золотины становятся центрами минералообразования для его гидрогенной составляющей.

#### **Научная новизна работы.**

1. Показана роль вторичного минералообразования в формировании химического состава подземных вод.

2. Впервые для региона проведено физико-химическое моделирование взаимодействия подземных вод с различными типами горных пород и показана эффективность его использования для решения обратных задач при оценке геологической деятельности подземных вод.

3. Установлен минералогический состав современных минеральных новообразований, равновесных с подземными водами, выявлены закономерности их формирования и распространения с учетом влияния пространственно-временных факторов.

4. Определены парагенезисы современных гипергенных продуктов и установлена их пространственная приуроченность.

5. Количественно оценены масштабы гипергенных преобразований первичных горных пород и современного вторичного минералообразования в системе "вода–порода".

6. Разработаны принципиально новые подходы к оценке гидрогеохимического фона рудогенных элементов, базирующиеся на количественной оценке процессов, происходящих в системе "вода – порода".

7. Доказана возможность и оценены масштабы формирования низкотемпературной гидрогенной составляющей золотоносных россыпей.

#### **Практическая значимость работы и реализация результатов исследований.**

Результаты исследований могут быть использованы при поисках и разведке месторождений рудных полезных ископаемых, обосновании выбора и анализе экологического состояния источников водоснабжения, при изучении процессов вторичного минералообразования, совершенствовании системы мониторинга, планировании и реализации мероприятий по рациональному использованию и охране подземных вод. Разработанные способы и приемы обработки и анализа гидрогеохимической информации позволяют более обоснованно оценивать перспективы региона на оруденение, в том числе и золотое, оценивать ресурсы предполагаемых рудных объектов, в том числе по результатам единичных наблюдений, прогнозировать изменение состава подземных вод при техногенном воздействии.

Результаты исследований вошли в отчеты по госбюджетным, хоздоговорным и инициативным темам научно-исследовательских работ Проблемной гидрогеохимической лаборатории и кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ, кафедры водоснабжения и водоотведения ТГАСУ, используются Региональным агентством по недропользованию по Сибирскому федеральному округу, Территориальным агентством по недропользованию по Республике Хакасия, ФГУП "Новосибирскгеология", и другими организациями. Материалы исследований используются в учебном процессе в Томском политехническом университете.

#### **Апробация работы.**

Основные положения работы обсуждались на Международных симпозиумах по методам прикладной геохимии (Иркутск, 1981, 1994; Орлеан, 1987; Москва, 1997), XXVII Конгрессе Международной ассоциации гидрогеологов (Ноттингем, 1999), Международном симпозиуме по фундаментальным и прикладным проблемам охраны окружающей среды (Томск, 1995), Международной конференции по технике и технологии очистки и контроля качества воды (Томск, 1999), IV Международном симпозиуме «Наука и технология» (Ульсанский университет, Корея, 2000), Международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства» (Томск, 2001), Международной конференции «Научные основы сохранения водосборных бассейнов» (Улан-Уде – Улан-Батор, 2004), Международной конференции, посвященной 75-летию юбилею гидрогеохимии (Томск, 2004), I и II Всесоюзных совещаниях по физико-химическому моделированию в геохимии и петрологии (Иркутск, 1980, 1988), Всесоюзном совещании по геохимии ландшафтов (Новороссийск, 1986), Региональном совещании по геохимическим методам поисков (Челябинск, 1981), III и IV Всесоюзных совещаниях по геохимическим методам поисков МПИ (Самарканд, 1982; Ужгород, 1988), Всесоюзном и Всероссийском гидрогеохимических совещаниях (Томск, 1986, 1993), Всесоюзном и Всероссийских совещаниях по подземным водам (Иркутск-Южно-Сахалинск, 1988; Тюмень, 1997; Красноярск, 2003), Всесоюзном симпозиуме по изотопам в гидросфере (Каунас, 1990), Всероссийской научно-практической конференции по геоэкологическому картированию (Москва, 1998), Всеуральском совещании по рациональному использованию и охране подземных вод (Свердловск, 1989), Ре-

гиональных совещаниях по современным проблемам гидрогеологии и гидрогеохимии Сибири (Томск, 1996) и актуальным вопросам геологии и географии Сибири (Томск, 1998), региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока Сибири (Томск, 2000), конференциях «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления» (Тюмень, 1982, 1983, 1985, 1987), научном семинаре по минералогии техногенеза (Миасс, 2000), юбилейных конференциях, посвященных 100-летию М.А.Усова (Томск, 1983) и П.А.Удодова (Томск, 2003), научной конференции «Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования» (Чита, 2001), научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производительных сил Томской области» (Томск, 2004), научно-практической конференции «Основные водохозяйственные проблемы и пути их решения» (Томск, 2005), научно-технических советах ПГО «Новосибирскгеология», «Запсибзолото», Территориального агентства по недропользованию по Республике Хакасия, научных семинарах проблемной гидрогеохимической лаборатории и кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 76 научных работ, в том числе 5 коллективных монографий и 10 статей в журналах, включенных в перечень ВАК.

**Структура и объемы работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Объем работы 380 страниц текста, включающего 115 таблиц, 120 рисунков и 351 наименование библиографических источников.

В процессе исследований автор работы обращался за советами и консультациями к докторам наук М.Б.Букаты, И.К.Карпову, А.Ф.Коробейникову, Е.А.Пономареву, Н.М.Рассказову, Л.П.Рихванову, Г.М.Рогову, кандидатам наук В.К.Бернатонису, Л.А.Казмину, Д.С.Покровскому, К.В.Чудненко. Многие вопросы обсуждались в разное время с коллегами по совместной работе В.Я.Бычковым, И.В.Волождиной, В.Г.Ворошиловым, Р.Ф.Зарубиной, Ю.Г.Копыловой, К.И. и К.К.Кузевановыми, З.В.Лосевой, А.А.Лукиным, Н.Г.Наливайко, А.К.Полиенко, А.Я.Пшеничкиным, А.С.Тайлашевым, Н.А.Трифоновой, А.Д.Фатеевым, Е.В. и Е.И.Черняевыми. Огромную поддержку и помощь в проведении работ и сборе фактического материала автор получила от сотрудников производственных организаций Э.И.Большакова, А.А.Булатова, И.П.Васильева, О.А.Влащенко, В.М.Елисеева, Г.А.Жульминой, О.А.Журбиной, П.А.Зейба, В.Г.Иванова, А.А.Калашниковой, А.И.Казеннова, В.Е.Кац, А.С.Кривошеева, А.И.Ламинского, В.М.Людвига, В.А.Льготина, Ю.В.Макушина, В.С.Медникова, В.А.Мельниковой, В.Д.Мисюка, А.И.Неволько, В.В.Нечаева, Г.Л.Плевако, В.Г.Свиридова, А.С.Скогорева, Г.П.Тарасова, Т.А.Фадиной.

Указанным лицам, а также сотрудникам Проблемной гидрогеохимической лаборатории и кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ, студентам, участвовавшим в полевых экспедициях и обработке гидрогеохимической информации, автор выражает искреннюю благодарность.

Автор благодарен доктору геолого-минералогических наук, профессору П.С.Чубику, оказавшему активное содействие в организации завершения данной работы и особую признательность выражает доктору геолого-минералогических наук, профессору С.Л.Шварцеву - учителю и консультанту, определившему основную направленность научных исследований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ

Истоки исследований по изучению зоны гипергенеза в целом и наиболее активной ее части - подземных вод связаны с идеями академика В.И. Вернадского, определяющую роль которого в этом отношении многократно подчеркивали его современники, ученики и последователи. Теоретическая база гидрогеохимии зоны гипергенеза создавалась как гидрогеологами, в том числе зачастую прямо не связанными с изучением гидрогеохимических проблем верхней гидродинамической зоны, так и представителями других наук. Огромный вклад в становлении и развитие этого направления внесли П.Б.Бартон, А.А.Бродский, Ю.Ю.Бугельский, Р.М.Гаррелс, А.И.Германов, И.И.Гинзбург, М.А.Глазовская, Г.А.Голева, В.В.Добровольский, Дж.Драйвер, И.К.Зайцев, В.П.Зверев, Г.Н.Каменский, И.К.Карпов, С.А.Кашик, У.Д.Келлер, В.А.Кирюхин, В.А.Ковда, Б.А.Колотов, А.И.Коротков, С.Р.Крайнов, Ч.Л.Крайст, А.К.Лисицин, И.С.Ломоносов, К.И.Лукашев, Ф.А.Макаренко, Г.А.Максимович, Л.А.Матвеева, В.М.Матусевич, А.М.Овчинников, Т.Пачес, Ж.Педро, А.И.Перельман, Е.В.Пиннекер, Б.И.Писарский, К.Е.Питьева, Б.Б.Полынов, Е.В.Посохов, Н.М.Рассказов, Г.М.Рогов, Б.Н.Рыженко, Ф.П.Саваренский, Л.С.Табаксблат, И.Тарди, Н.И.Толстихин, Ф.И.Тютюнова, П.А.Удодов, А.Е.Ферсман, Х.К.Хелгесон, И.Д.Хем, С.Л.Шварцев, В.М.Швец, А.В.Щербаков и многие другие.

Благодаря работам этих и многих других исследователей были разработаны фундаментальные теоретические положения о механизмах и факторах формирования химического состава подземных вод, введены понятия о подвижности, коэффициентах, классах водной миграции химических элементов и о геохимических барьерах, сформированы представления о вертикальной поясной и широтной гидрогеохимической зональности, выделены провинции нормируемых химических элементов, проведены обобщения по химическому составу подземных вод зоны гипергенеза, систематизированы данные и получены средние (кларковые) содержания широкого ряда химических элементов в подземных водах основных ландшафтных зон земного шара, выполнены оценки геологической роли подземных вод и определены скорости химического выветривания горных пород в различных климатических зонах, развиты фундаментальные представления о системе "вода-порода" и ее способности к самоорганизации и самоорганизации, внедрены в геологические исследования методы математики, термодинамики и физико-химии, разработаны многочисленные программы для моделирования на ЭВМ разнообразных геохимических процессов.

Современные представления о системе "вода-порода" и методы химической термодинамики, в том числе компьютерного моделирования, создавая новую методологическую основу, способствующую более глубокому пониманию физико-химических процессов, происходящих в подземной гидросфере, открывают огромные перспективы для дальнейших исследований и углубления знаний. Это касается, прежде всего, изучения гипергенных процессов и формирования гипергенных продуктов (геохимических типов воды и ассоциаций минералов равновесной вторичной твердой фазы) как единого целого, оценки закономерностей распространенности парагенезисов современных гипергенных продуктов в зависимости от конкретных геолого-ландшафтных условий. Сюда относятся и вопросы механизмов, масштабов накопления и форм миграции химических элементов в водах, оценки характера и степени равновесности вод с широким спектром минералов (алюмосиликатов, силикатов, карбонатов, сульфатов, хлоридов, окислов и гидроокислов).



Гидрогеологические и гидрогеохимические исследования непосредственно Алтае-Саянской складчатой области и прилегающих территорий Западной Сибири проводились как производственными геологическими, так и научными организациями и охватывают почти столетний период. Их результаты отражены в многочисленных отчетах, статьях, монографиях и диссертациях Ю.Н.Акуленко, В.Я.Бычкова, Б.А.Вороникова, Е.М.Дутовой, Н.А.Ермашовой, А.Н.Запольского, В.Г.Иванова, В.П.Карловой, Ю.Г.Копыловой, Е.С.Коробейниковой, А.А.Кошевого, К.И.Кузеванова, В.С.Кусковско-го, М.И.Кучина, З.В.Лосевой, А.А.Лукина, В.М.Людвига, Ю.В.Макушина, В.М.Матусевича, А.Д.Назарова, А.Ю.Озерского, Ю.С.Парилова, Г.А.Плевако, Г.Л.Плевако, Д.С.Покровского, Е.А.Пономарева, О.В.Постниковой, В.К.Попова, Н.А.Рослякова, Н.М.Рассказова, Г.М.Рогова, Ж.Н.Савиной, Ю.К.Смоленцева, А.Д.Фатеева, П.А.Удодова, Л.Л.Шабынина, С.Л.Шварцева и других.

Большая роль в исследованиях региона принадлежит кафедре гидрогеологии и Проблемной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета, работы которых были начаты еще в 50-ые годы и продолжаются в настоящее время. Результаты этих исследований позволили установить закономерности изменчивости состава вод отдельных территорий и рудных объектов, а при разработке теоретических положений гидрогеохимии зоны гипергенеза, были обобщены проф. С.Л. Шварцевым, в результате чего были получены средние значения содержаний компонентов химического состава вод в пределах отдельных структур, ландшафтных зон горной части Алтае-Саянской складчатой области и рассмотрены вопросы равновесия вод с карбонатными и алюмосиликатными минералами.

Данная работа является продолжением исследований в рамках этого научного направления. Появившиеся в настоящее время дополнительные данные и новая методическая основа, в т.ч. с использованием современных компьютерных технологий, позволяют на новом уровне подойти и к анализу накопленного материала и ответить на ряд вопросов, важных для решения возникающих на современном этапе гидрогеологических и экологических проблем региона.

## **2. ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Алтае-Саянская складчатая область, занимающая обширные пространства юга Средней Сибири, представляет собой систему эродированных горных хребтов (Западный и Восточный Саяны, Алтай, Кузнецкий Алатау и др.), между которыми располагаются межгорные впадины (Тувинская, Рыбинская, Кузнецкая, Минусинская и другие).

В пределах горных хребтов преобладает среднегорный тип рельефа с абсолютными высотами 1000 - 2000 м и лишь в их осевых частях развиты участки высокогорного рельефа. Низкогорный рельеф и всхолмленные возвышенности характерны для предгорий Алтая, Саян, Кузнецкого Алатау, структур Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны. Межгорные впадины с преимущественно равнинным и пологохолмистым рельефом располагаются на высотах от 125 - 150 м (Рыбинская впадина) до 1000-1200 м (Алтайские впадины).

В тесной связи с типами рельефа находятся ландшафтные зоны. Субальпийские луга и горные тундры приурочены к высокогорьям и среднегорьям и занимают около 20 % площади региона. Зона таежных лесов распространена на средне- и низкогорных территориях и в пределах предгорий. Подтаежные леса занимают периферийные части межгорных котловин, а степные и лесостепные ландшафты развиты как в межгорных котловинах, так и на значительной части предгорий и среднегорий.

Горные массивы характеризуются избыточным увлажнением и повышенными значениями модуля подземного стока (3-6 л/с\*км<sup>2</sup>), межгорным впадинам присуще недостаточное увлажнение и модули подземного стока порядка 0,1-0,5 л/с\*км<sup>2</sup>.

Горные сооружения сложены интенсивно метаморфизованными, осадочными и вулканогенными породами архея и протерозоя, нижнего и среднего палеозоя, которые собраны в сильно сжатые, местами опрокинутые складки, разбиты многочисленными разломами и прорваны интрузиями разного состава. Межгорные впадины выполнены палеозойскими и отчасти мезозойскими породами, собранными в относительно пологие складки и перекрыты кайнозойскими отложениями.

В гидрогеологическом отношении горно-складчатые сооружения обладают чертами массивов трещинных вод, а межгорные впадины - артезианских бассейнов. Породы в различной степени консолидированы и характеризуются преимущественным распространением трещинных, трещинно-карстовых, трещинно-жильных и пластово-трещинных подземных вод, приуроченных, главным образом, к зоне экзогенной трещиноватости, имеющей региональное распространение.

Гипсометрические условия и соответствующая высотная зональность характеристик стока и интенсивности водообмена в совокупности с особенностями тектонического и литолого-фациального строения предопределяют облик геохимии подземных вод (рис. 1).

Подземные воды, формирующиеся в высокогорных условиях горно-луговых ландшафтов, имеют среднюю минерализацию порядка 100 мг/л, гидрокарбонатный натриево-магниевый-кальциевый состав и низкие концентрации микрокомпонентов, а также слабокислый характер среды вне карбонатных пород и нейтральный или слабощелочной - в пределах развития карбонатных разностей.

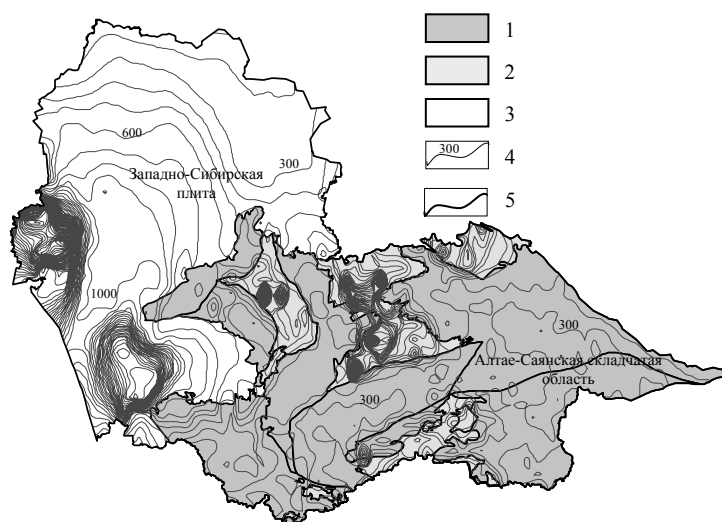


Рис. 1. Распределение минерализации подземных вод зоны гипергенеза региона 1-2 -Алтае-Саянская складчатая область: 1- горноскладчатые сооружения; 2- межгорные и предгорные впадины; 3-Западно-Сибирская плита; 4- изоминеры и их значения, мг/л; 5- границы геологических структур

В условиях таежной зоны формируются околонейтральные и слабощелочные воды преимущественно гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава с относительно более высокой минерализацией.

В условиях открытой степи межгорных впадин, несмотря на то, что состав вод в подавляющей массе по типу остается гидрокарбонатным, а минерализация не превышает, в среднем, 1 г/дм<sup>3</sup>, зачастую появляются соленоватые воды пестрого ионно-солевого состава (гидрокарбонатные натриевые, хлоридно-гидрокарбонатные кальциевого-натриевые, сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные кальциевого-натриевые и даже сульфатные натриевые, хлоридные натриевые).

Исследования по оценке средних (кларковых) содержаний компонентов химического состава подземных вод, начатые С.Л. Шварцевым, были продолжены нами. В частности, расчет средних значений с учетом соотношения площадей ландшафтов горных сооружений и межгорных впадин позволил впервые получить их значения для подземных вод межгорных впадин и уточнить – для Алтае-Саянской складчатой области в целом (табл. 1).

При смене ландшафтных условий от горных тундр и альпийских лугов (высокогорье) через умеренно влажную таежную и лесную зоны (среднегорья и низкогорья) до лесостепных ландшафтов предгорий и, наконец, типичных степей межгорных впадин, происходит увеличение общей минерализации подземных вод и содержаний большей части химических элементов. Рост содержаний отдельных компонентов химического состава далеко не всегда пропорционален росту минерализации и ландшафтной последовательности, в целом. Специфику поведения некоторых из них отражает рис. 2, на котором распределение компонентов химического состава подземных вод показано как в абсолютных, так и в относительных величинах. За единицы сравнения для получения последних, приняты соответствующие характеристики компонентов химического состава вод гольцовых и горно-луговых ландшафтов, отражающие начальные стадии формирования подземных вод. Представление материала в относительных единицах позволяет сравнивать элементы друг с другом и выявить характер их поведения во временной последовательности. В частности, выделяются химические компоненты, которые накапливаются в растворе весьма интенсивно. Степень накопления сульфат-иона в степных ландшафтах по сравнению с гольцовыми составляет десятки (21 - 48) раз. Такая активность накопления сульфатов обязана как процессам континентального засоления, так и разрушению сульфидов, источником которых являются многочисленные рудопроявления, весьма распространенные в данном регионе. Высокая степень концентрирования (7- 12 раз) характерна также для натрия и хлор-иона. В целом, интенсивность накопления подвижных компонентов сопоставима с ростом минерализации в подземных водах гольцовых и таежных ландшафтов и значительно обгоняет ее в водах степных территорий.

Менее активно в водах накапливаются кальций, гидрокарбонат-ион, магний, калий, причем в степных ландшафтах степень их накопления несколько отстает от темпов роста общей минерализации и составляет 3-6 раз. Наконец, такие компоненты как кремний, алюминий, железо характеризуются минимальными темпами роста. Интенсивность накопления этих компонентов в водах во всех ландшафтных условиях отстает от темпов роста общей минерализации и в среднем не превышает двукратных значений. Более того, концентрация кремния в водах степных ландшафтов межгорных впадин меньше, чем в водах горной степи или тайги.

Таблица 1. Химический состав подземных вод Алтае-Саянской складчатой области

Компоненты	Ед. изм,	Ландшафтные зоны горно-складчатых структур*			Ландшафтные зоны котловин**	Среднее по АСО	
		горных тундр и альпийских лугов	горно-таежная	горно-степная		*	***
pH	-	6,82	7,2	7,63	7,81	7,22	7,33
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	66	189	357	420	209	290
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	2,2	5,3	47,2	106,3	18,6	47,5
Cl <sup>-</sup>	мг/л	4,6	6,1	39,9	53,0	16,9	33,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л		1,74	1,24	6,09	1,82	
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	11,5	38,4	69,7	73,6	39,9	54,8
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	5,3	12,7	32,1	32,7	17,3	25,0
Na <sup>+</sup>	мг/л	6,5	14,1	47,8	83,9	22,4	44,0
K <sup>+</sup>	мг/л	0,63	0,87	3,12	2,36	1,62	2,28
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/л		0,41	0,38	0,29	0,39	
SiO <sub>2</sub>	мг/л	7,9	11,3	15,0	9,9	11,6	11,4
Сумма	мг/л	104	279	641	762	339	520
CO <sub>2</sub> (св.)	мг/л	4,63	8,72	12,3	16,47	8,55	10,75
O <sub>2</sub>	мг/л	7,22	6,26	2,92	5,67	5,47	3,82
Сорг	мг/л	7,81	6,22	5,04	3,24	5,36	4,59
Fe	мкг/л	320	425	538	258	423	395
F	мкг/л	131	195	398	334	241	305
Al	мкг/л	166	243	308	108	238	216
Sr	мкг/л	68	75	302	963	147	369
Br	мкг/л		9,7	73,5	596,8	41,5	
Mn	мкг/л	10,9	21,8	62,6	66,0	36,8	49,3
Zn	мкг/л	9,06	13,8	35,1	50,0	19,8	30,7
Ba	мкг/л	5,82	10,3	29,2	25,2	16,0	22,0
Ti	мкг/л	3,11	21,6	21,8	11,8	15,5	14,8
I	мкг/л	1,63	2,89	10,3		4,94	
Cu	мкг/л	2,06	2,52	5,65	7,79	3,38	4,97
Cr	мкг/л	1,21	2,45	2,54	4,17	2,31	2,41
Ni	мкг/л	1,18	1,46	2,79	4,94	1,89	2,70
Pb	мкг/л	1,13	1,65	2,55	3,27	1,77	2,23
As	мкг/л	0,77	0,72	1,72	1,43	1,06	1,35
Zr	мкг/л	0,62	0,84	1,4	1,54	0,93	1,17
Sb	мкг/л	0,31	0,37	0,88	0,25	0,52	0,58
V	мкг/л	0,36	0,83	0,49	3,20	0,51	0,96
Mo	мкг/л	0,35	0,53	0,66	1,25	0,46	0,67
Sn	мкг/л	0,29	0,36	0,55	0,20	0,4	0,39
Ga	мкг/л	0,09	0,12	0,66	1,60	0,3	0,70
Be	мкг/л	0,15	0,18	0,37	0,72	0,23	0,37
Ag	мкг/л	0,12	0,22	0,28	0,48	0,21	0,27
Hg	нг/л	10	30	70	20	40	44
Au	нг/л		6	4		5	
Число анализов		248	4227	693	1879	5168	7047

\* по С.Л.Шварцеву (1998); \*\* рассчитано автором; \*\*\* рассчитано автором с учетом соотношения распределения площадей ландшафтов в регионе

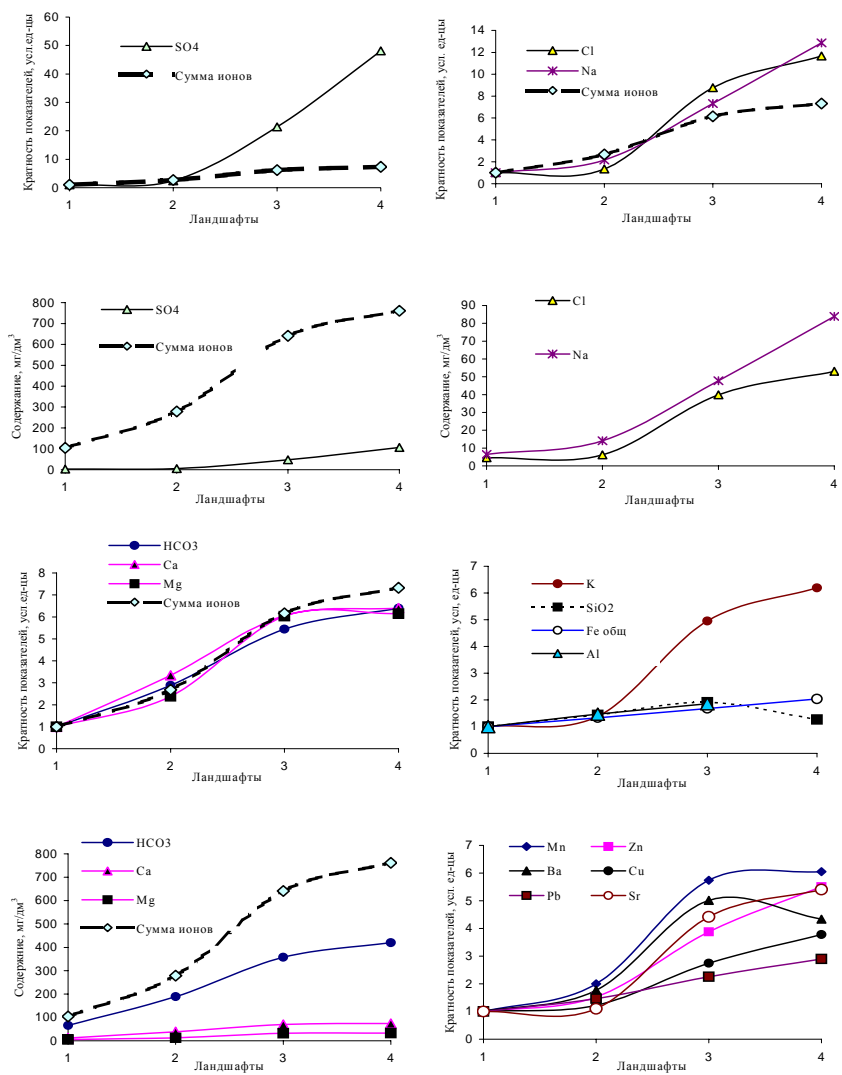


Рис. 2. Распределение компонентов состава подземных вод в различных ландшафтных условиях Алтае-Саянской складчатой области: 1 – гольцовых и горно-луговых; 2 – горных таяжных и лесных; 3 – горных лесостепных и степных; 4 – лесостепных и степных межгорных впадин.

Для большинства микрокомпонентов темпы концентрирования в водах не превышают темпов роста общей минерализации. Особенно ярко это проявляется в поведении Ва и V, средние концентрации которых, достигая максимальных в водах горных степей, снижаются в водах степных ландшафтов межгорных впадин.

Изложенные выше закономерности, прослеженные для Алтае-Саянской складчатой области и заключающиеся в высотной и ландшафтной изменчивости минерализации, состава подземных вод, характерны и для отдельных структур (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав подземных вод Кузнецкого бассейна

Компоненты	Единицы измерения	Бассейн в целом			Ландшафтные зоны		
		минимальное	максимальное	среднее	таежная	лесо-степная	степная
					среднее	среднее	среднее
pH		6,91	8,9	7,53	7,50	7,53	7,58
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	186	906	469	436	470	508
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	0,4	67,1	1,2	0,4	0,6	4,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	0,2	615,6	55,0	14,5	51,3	120,1
Cl <sup>-</sup>	мг/л	2,3	200,0	32,5	21,8	33,3	44,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0,90	217,00	13,05	9,15	15,77	10,41
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0,0003	0,800	0,039	0,025	0,047	0,031
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	6,0	290,6	93,3	82,7	93,9	105,4
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	1,2	94,9	33,8	28,9	33,7	40,8
Na <sup>+</sup>	мг/л	5,2	296,3	59,5	37,8	59,1	89,5
K <sup>+</sup>	мг/л	0,4	6,0	1,5	1,2	1,5	1,8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/л	0,005	1,08	0,11	0,16	0,10	0,05
Fe	мг/л	0,005	11,20	0,40	0,11	0,50	0,50
F	мг/л	0,02	1,65	0,24	0,14	0,26	0,31
SiO <sub>2</sub>	мг/л	5,0	50,0	19,4	18,6	18,9	21,7
Сумма	мг/л	262	1973	758	631	758	925
Сорг	мг/л	0,03	11,76	2,35	1,43	2,62	2,81
Br	мкг/л	1	10180	934	676	770	1752
Sr	мкг/л	180	5810	1098	1101	1009	1352
Ba	мкг/л	0,1	2340	217	283	159	297
Mn	мкг/л	0,1	1590	196	152	221	182
Zn	мкг/л	0,5	470,0	43,3	41,8	43,2	45,8
Cu	мкг/л	0,1	67	3,93	3,26	4,39	3,51
Pb	мкг/л	0,02	30,80	1,40	1,28	1,50	1,29
Li	мкг/л	1,0	83,0	16,5	6,6	17,1	21,6
Co	мкг/л	0,02	1,2	0,11	0,08	0,12	0,13
Cd	мкг/л	0,001	0,54	0,06	0,14	0,03	0,02
Mo	мкг/л	0,01	2,5	0,34	0,42	0,37	0,14
As	мкг/л	0,05	26	4,07	2,88	4,8	3,57
Ni	мкг/л	0,1	9	0,68	0,72	0,66	0,68
Se	мкг/л	0,01	17	0,42	0,24	0,51	0,39
Cr	мкг/л	0,02	6,6	2,58	2,1	2,56	3,3
P	мкг/л	0,5	21	3,09	5,06	2,97	2,08
V	мкг/л	0,05	2,2	0,22	0,31	0,19	0,05
Число анализов		94			24	52	18

Миграция макрокомпонентов в водах осуществляется преимущественно в виде собственных ионов, хотя роль комплексных соединений возрастает с увеличением минерализации воды (табл. 3). Как показывают наши исследования, лишь десятые доли процента валового количества натрия мигрируют в виде комплексных соединений. На долю комплексных соединений магния и кальция, в среднем, приходится от 1,2 до 7,2% от их валового содержания.

Среди микрокомпонентов миграция в виде простых ионов присуща, главным образом, закисному железу (от 98,4 до 78,1 %), марганцу и цинку (от 92-96 до 44-46 %). Окисное железо, медь и свинец мигрируют преимущественно в виде комплексных карбонатных, гидрокарбонатных и гидроксидных соединений (табл. 3).

Таблица 3. Формы миграции макрокомпонентов (Na, Mg, Ca) и микрокомпонентов (Mn, Fe, Cu, Zn, Pb) в подземных водах региона

Структуры	Ландшафты	Формы миграции	
		Главные	Второстепенные
Алтае-Саянская складчатая область	Горно-луговой	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $(\text{FeOH})^+$ , $\text{CuCO}_3$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $(\text{PbHCO}_3)^+$ , $(\text{PbOH})^+$	$(\text{MgHCO}_3)^+$ , $(\text{CaHCO}_3)^+$ , $(\text{MnHCO}_3)^+$ , $\text{MnCO}_3$ , $(\text{FeHCO}_3)^+$ , $(\text{CuHCO}_3)^+$ , $\text{CuOH}^+$ , $(\text{ZnHCO}_3)^+$ , $\text{ZnCO}_3$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{PbCO}_3$
	Горно-таежный	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $(\text{FeOH})^+$ , $\text{CuCO}_3$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $(\text{PbHCO}_3)^+$ , $(\text{PbOH})^+$ , $\text{PbCO}_3$	$(\text{MgHCO}_3)^+$ , $(\text{CaHCO}_3)^+$ , $(\text{MnHCO}_3)^+$ , $\text{MnCO}_3$ , $(\text{FeHCO}_3)^+$ , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{FeCO}_3$ , $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{CuФК}$ , $\text{Cu}(\text{ФК})_2^{2-}$ , $(\text{CuHCO}_3)^+$ , $\text{CuOH}^+$ , $(\text{ZnHCO}_3)^+$ , $\text{ZnCO}_3$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{PbФК}$
	Горно-лесостепной	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{MnCO}_3$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $(\text{FeOH})^{2+}$ , $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ , $\text{CuCO}_3$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $(\text{PbHCO}_3)^+$ , $\text{PbCO}_3$	$(\text{MgHCO}_3)^+$ , $(\text{CaHCO}_3)^+$ , $\text{CaSO}_4$ , $(\text{MnHCO}_3)^+$ , $\text{MnSO}_4$ , $(\text{FeHCO}_3)^+$ , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{FeCO}_3$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{CuФК}$ , $(\text{CuHCO}_3)^+$ , $\text{CuOH}^+$ , $(\text{ZnHCO}_3)^+$ , $\text{ZnCO}_3$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $(\text{PbOH})^+$
	Лесостепной, степной межгорных впадин	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{MnCO}_3$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $(\text{FeOH})^{2+}$ , $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ , $\text{CuCO}_3$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{ZnCO}_3$ , $(\text{PbOH})^+$ , $\text{PbCO}_3$ , $(\text{PbHCO}_3)^+$	$(\text{MgHCO}_3)^+$ , $\text{MgSO}_4$ , $(\text{CaHCO}_3)^+$ , $\text{CaCO}_3$ , $\text{CaSO}_4$ , $(\text{MnHCO}_3)^+$ , $\text{MnSO}_4$ , $(\text{FeHCO}_3)^+$ , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{FeCO}_3$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $(\text{CuHCO}_3)^+$ , $\text{CuOH}^+$ , $(\text{ZnHCO}_3)^+$ , $\text{ZnSO}_4$ , $\text{Pb}^{2+}$
Платформенное обрамление АСО (Западно-Сибирская шита)	Средне-таежный	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $(\text{FeOH})^+$ , $\text{CuФК}$ , $\text{Cu}(\text{ФК})_2^{2-}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $(\text{PbHCO}_3)^+$ , $(\text{PbOH})^+$ , $\text{PbCO}_3$	$(\text{MgHCO}_3)^+$ , $(\text{CaHCO}_3)^+$ , $(\text{MnHCO}_3)^+$ , $\text{MnCO}_3$ , $(\text{FeHCO}_3)^+$ , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{FeCO}_3$ , $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $(\text{CuHCO}_3)^+$ , $\text{CuCO}_3$ , $(\text{ZnHCO}_3)^+$ , $\text{ZnCO}_3$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{PbФК}$
	Южно-таежный	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $(\text{FeOH})^+$ , $\text{CuCO}_3$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $(\text{PbHCO}_3)^+$ , $(\text{PbOH})^+$ , $\text{PbCO}_3$	$(\text{MgHCO}_3)^+$ , $(\text{CaHCO}_3)^+$ , $(\text{MnHCO}_3)^+$ , $\text{MnCO}_3$ , $(\text{FeHCO}_3)^+$ , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{FeCO}_3$ , $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $(\text{CuHCO}_3)^+$ , $\text{CuФК}$ , $\text{Cu}(\text{ФК})_2^{2-}$ , $\text{CuOH}^+$ , $(\text{ZnHCO}_3)^+$ , $\text{ZnCO}_3$ , $\text{Pb}^{2+}$
	Лесостепной, степной	$\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{MnCO}_3$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $(\text{FeOH})^{2+}$ , $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ , $\text{CuCO}_3$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{ZnCO}_3$ , $(\text{PbOH})^+$ , $\text{PbCO}_3$ , $(\text{PbHCO}_3)^+$	$(\text{MgHCO}_3)^+$ , $\text{MgSO}_4$ , $(\text{CaHCO}_3)^+$ , $\text{CaCO}_3$ , $\text{CaSO}_4$ , $(\text{MnHCO}_3)^+$ , $\text{MnSO}_4$ , $(\text{FeHCO}_3)^+$ , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , $\text{FeCO}_3$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $(\text{CuHCO}_3)^+$ , $\text{CuOH}^+$ , $(\text{ZnHCO}_3)^+$ , $\text{ZnSO}_4$ , $\text{Pb}^{2+}$

Примечание: главные – доля которых более 25 %; второстепенные – от 1 % до 25% валового содержания

Подземные воды региона, вне зависимости от ландшафтных и высотных условий, типа водовмещающих отложений и длительности миграции, не равновесны с первичными алюмосиликатными минералами (микроклинном, анортитом, альбитом, мусковитом и другими), но равновесны с вторичными алюмосиликатными и некоторыми гидроксидами, силикатными, карбонатными и сульфатными минералами. Под-

земные воды гольцовых, горно-луговых ландшафтов обладают узким спектром равновесной вторичной фазы, представленной, главным образом, гидроксидами железа и каолинитом. Подземные воды горно-таежных ландшафтов, как правило, равновесны с каолинитом и кварцем, кроме того, значительная часть из них с Са- и Mg-монтмориллонитами, иллитом, карбонатными минералами, иногда баритом (табл. 4).

Таблица 4. Степень насыщения (L) подземных вод к карбонатным и сульфатным минералам

Структуры	Ландшафты	Равновесные (L > 0)	Близкие к равновесию (0 > L > -5)	Умеренно недонасыщенные (-5 > L > -10)	Недонасыщенные (-10 > L > -15)
Алтае-Саянская складчатая область	Горно-луговой		CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, PbCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , BaSO <sub>4</sub>	FeCO <sub>3</sub> , MnCO <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), SrSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , PbSO <sub>4</sub>
	Горно-таежный (среднегорья)		CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , FeCO <sub>3</sub> , PbCO <sub>3</sub> , MnCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , BaSO <sub>4</sub>	ZnCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), SrSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , PbSO <sub>4</sub>
	Горно-таежный (низкогорья, предгорья)	CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	FeCO <sub>3</sub> , MnCO <sub>3</sub> , PbCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , BaSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), SrSO <sub>4</sub>	PbSO <sub>4</sub>
	Горно-лесостепной	CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	FeCO <sub>3</sub> , MnCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , PbCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), BaSO <sub>4</sub> , SrSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , PbSO <sub>4</sub>	
	Лесостепной, степной межгорных впадин	CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , PbCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , FeCO <sub>3</sub> , BaSO <sub>4</sub> , SrSO <sub>4</sub>	MnCO <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), PbSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub>	
Платформенное обрамление АСО (Западно-Сибирская плита)	Средне-таежный		CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , FeCO <sub>3</sub> , MnCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , BaSO <sub>4</sub>	ZnCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), SrSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , PbSO <sub>4</sub>
	Южно-таежный	CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	FeCO <sub>3</sub> , MnCO <sub>3</sub> , PbCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , BaSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), SrSO <sub>4</sub>	PbSO <sub>4</sub>
	Лесостепной, степной	CaCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> арагонит, CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , PbCO <sub>3</sub> , SrCO <sub>3</sub> , FeCO <sub>3</sub> , BaSO <sub>4</sub> , SrSO <sub>4</sub>	MnCO <sub>3</sub> , ZnCO <sub>3</sub> , Cu <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O), PbSO <sub>4</sub>	BaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub>	

Подземные воды лесостепного и степного поясов наряду с упомянутыми минералами зачастую равновесны с баритом, с целестином, а в единичных случаях, даже с флюоритом и гипсом. В среднем, воды с минерализацией более более 600 мг/дм<sup>3</sup> - с



кальцитом и с арагонитом, более 800 мг/дм<sup>3</sup> - с доломитом, более 1000 мг/дм<sup>3</sup> - с сидеритом, стронцианитом, родохрозитом.

В равнинных условиях Западной Сибири, в заболоченной средней тайге появляется особый тип кислых, высоко агрессивных органоминеральных ультрапресных вод, преимущественно гидрокарбонатных кальциевых и магниевых-кальциевых с повышенным содержанием железа, марганца, возрастает роль фульватных комплексов в миграции свинца и меди, равновесная вторичная фаза представлена, главным образом, гидроксидами железа и каолинитом. В южной тайге формируются пресные гидрокарбонатные воды. Воды лесостепных и степных ландшафтов значительно более минерализованы и сложны по ионно-солевому составу. Увеличивается роль комплексных сульфатных форм и расширяется спектр образующихся минералов, среди которых глинистые минералы, карбонаты, сульфаты. Все они выводят из миграции соответствующие элементы, лимитируя уровень накопления последних в водах.

Региональные закономерности высотной и широтной гидрогеохимической зональности нарушаются на территориях локальных объектов природно-техногенного, техногенного облика. В пределах рудных месторождений появляются несвойственные для соответствующих ландшафтно-климатических условий геохимические типы подземных вод, возрастают концентрации и расширяется спектр форм миграции элементов, хотя их миграционные возможности и ограничиваются способностью к формированию вторичных твердых фаз. Эксплуатация месторождений подземных вод сопровождается изменениями гидрогеохимических сред, которые хотя и не меняют типа подземных вод, но с течением времени могут привести к необходимости пересмотра технологических схем водоподготовки. На урбанизированных территориях физико-химические процессы формирования подземных вод сдвигаются в сторону создания условий для водной миграции химических элементов и, соответственно, их накопления в водах.

### **3. ВТОРИЧНЫЕ ГИДРОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ**

Автор придерживается жидкофазного механизма вторичного минералообразования, с позиций которого состав, ассоциации и соотношения минералов во вторичной фазе являются продуктом водной среды и отражают ландшафтно-климатическую специфику.

Достоверность гидрогеохимического тестирования гидрогенного минералообразования, проведенного на основе термодинамических расчетов, подтверждается закономерностями распространения, вещественным и минеральным составом изученных нами природных вторичных гидрогенных новообразований оксидно-гидроксидного и карбонатного типов, формирующихся непосредственно на выходах подземных вод, и природно-техногенных минеральных новообразований на технологическом оборудовании водозаборов.

Оксидно-гидроксидные осадки зафиксированы нами в таежных ландшафтах на выходах как ультрапресных вод, формирующихся в среднегорных условиях Восточного Саяна (Ольховско-Чибихекский район) и Кузнецкого Алатау (Центральнинский район), так и умеренно пресных и собственно пресных вод, формирующихся в низкогорных условиях Салаира и Кольвань-Гомской складчатой зоны. Морфологически они представляют собой высокодисперсные охристые образования, основная масса которых представлена ферригидритом (порядка 90 %), в меньшей степени, гетитом, лепидокрокитом. Присутствуют минералы марганца – бернессит, вернадит. Встреча-

ются карбонатные (в том числе железа и марганца) и фосфатные минералы. Основная кристаллическая фаза представлена  $\alpha$ -кварцем и  $\alpha$ -кристобаллитом.

Наиболее широко распространены вторичные алюмосиликатные, глинистые минералы, представленные каолинитом, монтмориллонитами, гидрослюдами.

Для формирования вторичных карбонатов регионального распространения благоприятны таежные, лесостепные и степные ландшафты. Морфология их разнообразна: от высокодисперсных продуктов, входящих в глинистые смеси, и хорошо раскристаллизованного материала, заполняющего трещины, до плотных конкреций, покровов на обломках пород, массивных натечных образований и травертиновых построек. Их наибольшая встречаемость связана с выходами вод из преимущественно карбонатных пород на уровне вреза долин 2-го порядка и на уровне долин 3-го порядка – с выходами вод из карбонатно-алюмосиликатных пород. Минералообразующей средой формирования, как правило, являются гидрокарбонатные нейтральные и слабощелочные воды с минерализацией порядка 600 мг/л и более. При выходе подземных вод на дневную поверхность зачастую отмечается дифференциация карбонатсодержащих вторичных новообразований на алюмосиликаты и карбонаты, связанная, главным образом, с углекислотным режимом.

Вторичные карбонатные образования представляют собой полиминеральные смеси, в которых доминирует кальцит. На уровне первых процентов встречается арагонит, сидерит, родохрозит и доломит. В ассоциации с ними встречаются и оксидно-гидроксидные, силикатные, алюмосиликатные и даже сульфатные минералы.

На локальных объектах, таких как рудные месторождения, новообразования характеризуются многокомпонентностью минеральных смесей, широким спектром совместного нахождения минералов. Например, в окисленных рудах месторождений золота Ольховско-Чибижского рудного района, детально изученного нами как в минералогическом, так и в гидрогеохимическом отношении (Дутова, Бернатонис, 2001), распространены оксидные, гидроксидные (гётит, гидрогётит, лепидокрокит, гематит, гидрогематит, псиломелан, пиролюзит), карбонатные (кальцит, арагонит, церуссит, малахит, азурит), сульфатные (барит, англезит, гипс, тетрагидрит, мелантерит, розенит, халькантит, лангит), глинистые (гидромусковит, иллит, хлорит, каолинит, галлуазит, монтмориллонит, нонтронит), органические (кафегидроцианит, ульмит) минералы.

Справедливость гидрогеохимического тестирования гидрогенного минералообразования подтверждается и на природно-технических объектах, где процессы минералообразования ускорены человеком. Ярким примером таких объектов являются системы водоснабжения, где все технологические процессы сопровождаются образованием значительного количества осадков, которые представляют собой природно-техногенные современные гидрогенные минеральные новообразования осадочного типа.

Исследования осадков на водозаборах Томской области позволили с той или иной степенью достоверности идентифицировать 24 минерала, в том числе 9 оксидных и гидроксидных, 4 карбонатных, 8 фосфатных и 3 алюмосиликатных. Несмотря на единую технологическую направленность водоподготовки (обезжелезивание), минеральный состав осадков имеет особенности, обусловленные ландшафтно-климатическими условиями расположения водозаборов и типом водовмещающих отложений эксплуатируемых горизонтов.

В осадках на оборудовании скважин водозабора Томского Академгородка, эксплуатирующего водоносный горизонт палеозойских отложений в условиях южной тайги, преобладают железистые оксидные и гидроксидные минералы (от 45 до 60%): ферригидрит, гетит, реже – гематит. В меньших долях определяются фосфатные (вивианит, скорцалит и штрэнгит - от 2 до 15%), глинистые (каолинит, 6 - 12%) и карбонатные (кальцит и сидерит - от 3 до 10%) минералы. Доля органических минералов составляет 3 - 5%. В осадках на фильтрах, проработавших 5 и менее лет, преобладают железистая (ферригидрит и гематит) и карбонатная (кальцит и арагонит) фазы. Установлено наличие бактериального ферригидрита. В осадках из фильтров, проработавших более 10 лет, преобладает кристаллическая марганцевая фаза (порядка 40%), основу которой составляют слоистый минерал бузерит-I или 10Å-манганит, реже вернадит, бернесит. Характерно высокое (20 - 25%) содержание карбонатов, среди которых наряду с кальцитом и арагонитом присутствует родохрозит. В небольших количествах отмечены фосфатные (5 - 7%) и глинистые минералы, органические минералы отсутствуют.

Осадки из фильтров водозаборов, эксплуатирующих горизонты палеогеновых отложений представляют собой слабокристаллизованные образования, характеризующиеся слоистым строением. В осадках на фильтрах Томского водозабора (южная тайга) преобладают гидроксиды железа – ферригидрит (в том числе, бактериального происхождения), гетит, гематит, лепидокрокит (25 – 35 %) и железистые гидрофосфаты – вивианит, штрэнгит, штрунцит и рокбриджеит (20 – 30 %). В состав осадка входят карбонаты (10 – 15 %), глинистые минералы группы каолинита (10 – 12 %), небольшое количество марганцевых минералов. Присутствует органическое вещество, возможно, в виде железистых органокомплексов (порядка 5 %). Осадок из фильтра Стрежевского водозабора (средняя тайга) представлен в основном железистыми минералами, фосфатами (порядка 35 %), оксидами и гидроксидами (порядка 20 %) и глинистыми минералами (около 20 %). На долю органических минералов приходится около 10 %. Карбонаты практически отсутствуют. Обращают на себя внимание различия внешнего и внутреннего слоев крупных оолитов: внутренний, черный, слой более обогащен органическим веществом и представляет собой тонкую полидисперсную смесь железистых гидрофосфатов (рокбриджеита, дюфренита и вивианита), гидроксидов железа (ферригидрита и гетита) и глинистых минералов, а внешний, коричневый, отличается большим количеством гидроксидов железа.

Результаты проведенных исследований показали роль вторичного минералообразования в формировании химического состава подземных вод и подтвердили достоверность гидрогеохимического тестирования вероятности того или иного вторичного гидрогенного минералообразования, выполняемого на основе термодинамических расчетов. В ряде случаев термодинамические расчеты позволяют по сути дела фиксировать «намерение системы», в то время как существующими инструментальными методами минерала еще практически не видно.

#### **4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Для количественной оценки процессов формирования подземных вод, массообмена, состава и масштабов образующихся равновесных продуктов в системе «вода-порода» использовались методы моделирования, базирующиеся на минимизации

функции свободной энергии и реализованные в ПК «Селектор», теоретические и математические основы которых разработаны И.К.Карповым.

Моделирование взаимодействия воды с горными породами проводилось применительно к средним ландшафтно-климатическим условиям Алтае-Саянской складчатой области ( $T=10^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{общ}}=1$  атм). Влияние атмосферы вводилось через ранее смоделированный состав атмосферных осадков, равновесных с газовым составом атмосферы. Роль биосферы учитывалась через парциальное давление углекислого газа ( $\text{PCO}_2$ ), по отношению к которому система рассматривалась, как открытая. Парциальное давление углекислоты принималось равным от  $10^{-2.0}$  до  $10^{-2.5}$  атм, что, в среднем, соответствует подземным водам зоны региональной трещиноватости региона, иногда вводилось более высокое давление ( $10^{-1}$  атм), характерное для вод почвенных горизонтов или вод зон разрывных нарушений.

Исследовалось взаимодействие вод с чисто алюмосиликатными (интрузивными и вулканогенными эффузивами основного состава), чисто карбонатными и алюмосиликатно-карбонатными (вулканогенно-осадочными с содержанием кальцита 15 и 4,2 %, осадочными карбонатно-терригенными с содержанием кальцита 82; 47,5; 13 и 3,6 %) образованиями ряда районов Алтае Саянской складчатой области, ранее детально изученных нами в гидрогеохимическом отношении.

Система охарактеризована матрицей из 14 независимых компонентов (K, Na, Ca, Mg, Fe, Al, Si, S, C, Cl, N, H, O, e) и 121 зависимого компонента, в числе которых 74 компонента водного раствора и вода, 10 газов ( $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) и 37 минералов.

Физико-химические расчеты выполнялись по типу «степени протекания реакций», а их результаты представлялись в виде графиков, позволяющих проследить эволюцию состава твердой и жидкой фаз во всем моделируемом интервале. Адекватность моделей реальным природным объектам оценивалась соответствием абсолютных величин и соотношений содержания химических элементов в водах и минералогического состава новообразующих твердых фаз. В отношении состава вод в данном случае по аналогии со стехиометрией минералов, вероятно, можно ввести термин «стехиометрия водного раствора» той или иной стадии взаимодействия с породами.

При моделировании взаимодействия воды с гранитоидами Центрального массива (рис. 3) система, соответственно формирующемуся минералогическому составу вторичной твердой фазы, характеризуется пятью стадиями эволюции и пятью соответствующими стехиометрическими типами химического состава вод.

При растворении одним литром воды 10 мг исходной породы 70 % массы элементов переходит в жидкую фазу и лишь 30% идет на формирование вторичных минералов: каолинита и гетита. При дальнейшем растворении (10 - 125 мг породы) формируется каолинит - гидрослюдистая твердая фаза, а распределение элементов характеризуется приблизительно равным отношением твердой и жидкой фаз. Позже вторичные минералы приобретают гидрослюдисто-каолиновый состав, а затем (при растворении свыше 158 мг породы) сменяются минералами монтмориллонит - гидрослюдисто - кварцевого состава. При растворении более 889 мг породы в составе твердой фазы появляются карбонаты, а преобладающим является монтмориллонит.

На всех этапах эволюции система характеризуется повышением pH и доли элементов, переходящих в твердую фазу. Наибольшие изменения в поведении химических элементов в воде присущи элементам, входящим в структуры образующихся вторичных минералов, и изменения эти приурочены к границам минеральных зон.

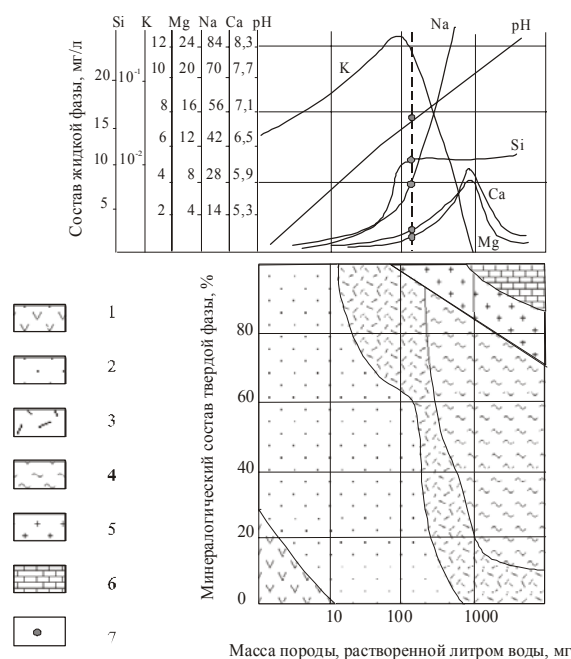


Рис. 3. Результаты моделирования эволюции системы «вода – гранитоиды» при Робщ. = 1атм., T = 10 °С, PCO<sub>2</sub> = 10<sup>-2,5</sup> атм.

1-6 – формирующиеся минеральные фазы: 1– гетит; 2– каолинит; 3– гидрослюда; 4 – монтмориллониты; 5– кварц; 6– карбонаты; 7– точки, соответствующие среднему составу подземных вод Центрального гранитоидного массива

карбонатообразования требуется разрушение относительно меньшего количества основных пород, нежели кислых. Иначе говоря, породы, содержащие большие количества кальция, способны к более раннему равновесию взаимодействующих с ними вод относительно вторичного кальцита.

При взаимодействии вод с породами типа основных эффузивов, характеризующихся практически полным отсутствием калиевосодержащих минералов, на первых этапах формируется вторичная фаза, представленная гетитом, каолинитом, кварцем, позднее ассоциация дополняется монтмориллонитами, карбонатами. В этом случае во вторичной фазе гидрослюдистые минералы могут не образовываться вовсе.

Растворение кальцит-доломитовых пород сопровождается обогащением взаимодействующих вод кальцием и магнием. Насыщение вод относительно вторичного кальцита при PCO<sub>2</sub>=10<sup>-2,5</sup> атм. наступает в результате разрушения 188 мг исходной породы. Далее обогащение вод осуществляется за счет разрушения только доломита.

Особенно резкие изменения с тенденцией к выводу элементов из раствора присущи калию при образовании гидрослюды, а кальцию и магнию - при образовании карбонатов. На протяжении всей эволюции независимо ведет себя натрий, полностью переходящий в жидкую фазу.

При взаимодействии вод с кварцевыми диоритами на начальной стадии железо связывается гетитом. Позже значимость гетита в удалении железа уменьшается, но повышается роль монтмориллонитов. Магний при взаимодействии вод с основными породами на определенной стадии связывается образующимися монтмориллонитами, в то время как при взаимодействии с кислыми породами практически полностью переходит в раствор. Для начала

Последний, поставляя в раствор химические элементы, подщелачивает его, в результате чего концентрация кальция в растворе уменьшается, а избыточный кальций связывается образующимся вторичным кальцитом. Магний из раствора также частично удаляется в виде изоморфной примеси к новообразующемуся кальциту, но, в целом, происходит его постепенное накопление. После того как система становится равновесной к первичным минералам, содержания Ca и Mg в растворе стабилизируются в данных условиях и породы выступают лишь как гидравлические коллекторы подземных вод и химически с ними не взаимодействуют.

Результаты взаимодействия вод с вулканогенно-осадочными образованиями, содержащими 15 % кальцита, отражены на рис. 4. В исследуемом интервале разрушения породы выделяется 9 минералогических зон - стадий преобразования. При разрушении от 1 до 3 мг породы от 90 до 99 % массы элементов переходят в воду, а остальные связываются образующимся гетитом. Увеличение масштабов преобразования исходных пород до 20 мг приводит к образованию каолинит-гетит-гипсовитовой зоны.

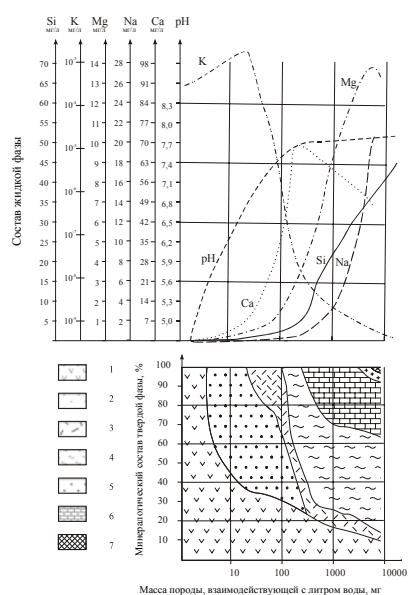


Рис. 4. Результаты моделирования эволюции системы "вода-вулканогенно-осадочные образования" при  $P_{общ.} = 1 \text{ атм.}$ ,  $T = 10^\circ\text{C}$ ,  $PCO_2 = 10^{-2.5} \text{ атм.}$

1-7 – формирующиеся минеральные фазы: 1-гетит; 2-каолинит; 3-гидрослюды; 4-монтмориллониты; 5-кварц; 6-карбонаты; 7-хлорит.

Далее, по мере увеличения степени преобразования пород и, соответственно, концентрации элементов в жидкой фазе, в составе образующейся твердой фазы появляются гидрослюды, затем монтмориллониты, карбонаты, кварц и, наконец, хлориты. Железо на всем пути эволюционного развития связывается с широким спектром минералов. На начальных этапах - это гетит, относительная доля которого уменьшается с течением времени. Железо начинает связываться с образующимися монтмориллонитами. Равновесие вод относительно монтмориллонитов наступает при растворении 100 мг исходных пород, и далее на всем пути эволюции монтмориллонит играет ведущую роль в минералогическом составе образующейся твердой фазы. На первых этапах, до наступления предела насыщения вод относительно карбонатов, от 99 до 81 % массы элементов переходит в раствор, позже доля элементов в водной фазе резко снижается. Даже натрий, хотя и имеющий

небольшой стехиометрический коэффициент, удаляется из вод образующимся монтмориллонитом.

На начальных этапах состав образующихся карбонатов преимущественно кальциевый, далее в них заметно увеличивается доля магния. Границы минералогических зон проявляются в поведении кальция, кремния, калия в водах.

Результаты моделирования взаимодействия вод с карбонатно-терригенными образованиями, содержащими различное количество кальцита, представлены на рис. 5.

Во всех случаях, за исключением системы с содержанием 3,6 %  $\text{CaCO}_3$ , начальная стадия взаимодействия характеризуется образованием гибсит-гетитовой зоны, и чем больше в исходной массе кальцита, тем больше интервал массы разрушения породы, в котором гибсит-гетитовая вторичная фаза продолжает преобладать.

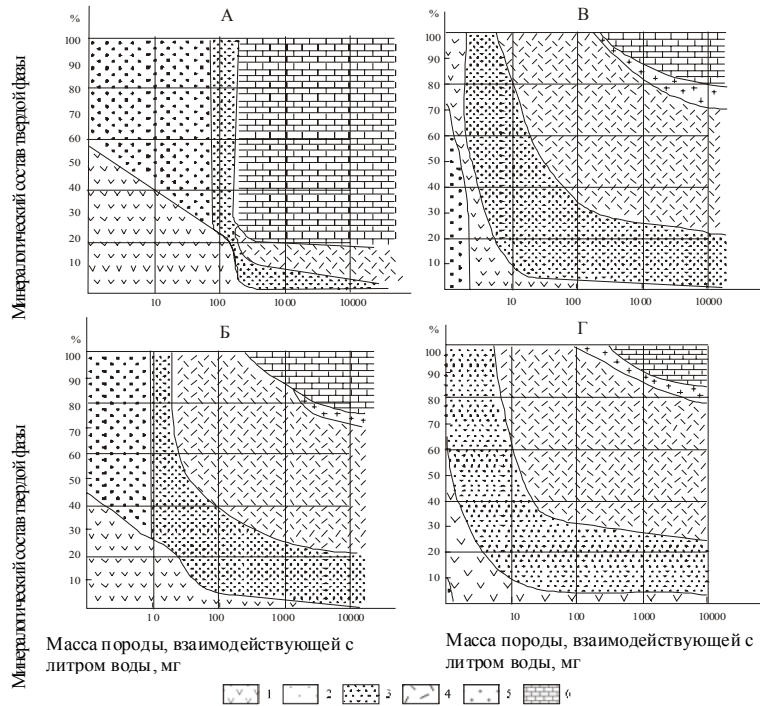


Рис. 5. Минералогический состав вторичной твердой фазы системы "вода –карбонатно-терригенные образования с содержанием кальцита: А–82%; Б–47,5%; В–13%; Г–3,6% при  $P_{\text{общ}}=1$  атм.,  $T=10^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{CO}_2}=10^{-2,5}$  атм.; 1-6 – формирующиеся минеральные фазы: 1– гетит; 2– гибсит; 3– каолинит; 4– гидрослюда; 5-кварц; 6- карбонаты

При дальнейшем увеличении массы разрушающейся породы минерализация вод растет, а гетит-гибситовая твердая фаза сменяется каолинит-гетитовой, каолинит-гидрослюдистой, гидрослюдисто-каолинит-кварцево-гетитовой и, наконец, гидрослюдисто-каолинит-карбонатно-кварцево-гетитовой. Эта последовательность со-

храняется независимо от содержания кальцита в породе, но чем его больше, тем большим массам разрушающихся пород соответствует начало той или иной стадии вторичного минералообразования. Ведущая роль в составе твердой фазы на первых стадиях принадлежит каолиниту, позднее - гидрослюдам. Каолинит сохраняется на всем моделируемом интервале растворения исходных пород. На поздних стадиях эволюции существенное место приобретает вторичное образование кварца.

Начальные стадии взаимодействия вод с породами, независимо от состава исходных пород, характеризуются практически отсутствием вторичной фазы либо ее мономинеральным составом и узким спектром вовлекаемых элементов. С увеличением времени взаимодействия и, соответственно, масштабов разрушения пород расширяется минералогический и элементный состав вторичной фазы, изменяются соотношения образующихся минералов.

Перераспределение химических элементов между жидкой и твердой вторичными фазами зависит от содержания кальцита в исходных породах: с его увеличением соотношение фаз сдвигается в сторону уменьшения доли твердой фазы. В составе жидкой фазы на первых стадиях эволюции системы возрастают содержания кальция и магния, которые в дальнейшем в связи с образованием вторичных карбонатов резко снижаются, уступая ведущую роль натрию, накопление которого в жидкой фазе характерно для всех стадий развития системы.

Соотношение перераспределенных петрогенных элементов между гипергенными образованиями увеличивается в сторону твердой фазы, стадийность образования которой в общем виде представляет последовательность: гиббсит-гетит; гетит-каолинит; каолинит-гидрослюды-гетит; гидрослюды-гетит; гидрослюды-карбонаты; гидрослюды-карбонаты-кремнезем; карбонаты-кремнезем-монтмориллонит. Минералогические же особенности и количественные характеристики составляющих системы в деталях определяются, главным образом, составом вмещающих пород и парциальным давлением углекислоты.

Увеличение парциального давления  $\text{CO}_2$  при взаимодействии вод со всеми типами пород на последовательность вторичного минералообразования в целом не влияет, а лишь сдвигает начало образования тех или иных твердых фаз к более поздним этапам и способствует накоплению больших содержаний элементов в водах.

В водах алюмосиликатных интрузивных и вулканогенно-осадочных образований монтмориллониты становятся ведущими новообразующимися минералами уже на самых ранних этапах, в то время как в карбонатно-терригенных породах равновесие вод к ним не достигается даже на поздних стадиях эволюционного развития системы.

Насыщенность вод относительно кальцита наступает при разрушении любых типов пород, однако масштабы разрушения различны: алюмосиликатных пород для насыщения вод требуется разрушить существенно больше, нежели карбонатных. Кроме того, вторичное карбонатообразование из вод алюмосиликатных пород, по сравнению с водами карбонатных отложений, начинается при меньших концентрациях кальция и в более щелочных условиях. Масштабы вторичного карбонатообразования определяются увеличением pH в результате растворения как кальцийсодержащих, так и бескальциевых минералов и, как следствие, роста избыточного содержания кальция.

Результаты моделирования вполне согласуются с реальными составами природных подземных вод и кор выветривания соответствующих пород в различных ландшафтных зонах региона. Так, например, состав вод, равновесных с каолинитом и гид-



рослюдами, при растворении 30-100 мг алюмосиликатных пород сопоставим с составом вод зоны региональной трещиноватости, дренируемых речной сетью в низкогорно-таежных районах, а при разрушении большего количества пород – с составом вод более глубоких горизонтов, опробованных нами в горных выработках. Моделируемые составы вод в интервале растворения 70-200 мг карбонатных пород породы отвечают составу вод зоны региональной трещиноватости горных районов умеренно влажного климата, опробованные в Ольховско-Чибихекском районе. Моделируемый состав вод вулканогенно-осадочных образований в интервале растворения первых сотен миллиграммов породы аналогичен составу вод зоны региональной трещиноватости, дренируемых речной сетью, а состав вод, полученный при растворении большей массы исходных пород, – составу вод зон разрывных нарушений в вулканогенно-осадочных породах печеркинской свиты нижнего кембрия Салаира. Высокая степень соответствия достигнута и при моделировании состава вод карбонатно-терригенных образований.

##### **5. ПАРАГЕНЕЗИСЫ СОВРЕМЕННЫХ ГИПЕРГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Под парагенезисами современных гипергенных образований мы понимаем совокупность формирующихся в единстве геохимических типов водных растворов (по С.Л.Шварцеву) и равновесных с ними ассоциаций минералов вторичной твердой фазы. Их существование вытекает из физико-химической сути эволюции системы «вода – порода – газ – органическое вещество», заключающейся в постепенном обогащении вод химическими элементами, которые при достижении уровня минералообразующих величин выводятся из раствора в виде соответствующих детерминировано predetermined минералов.

Общая характеристика выделенных нами парагенезисов региона приведена в табл. 5. Наименование типа парагенезиса отражает минеральный класс новообразующейся фазы, являющийся стартовым в цепи эволюционных преобразований. Наименование парагенезиса отражает минерал, являющийся стартовым в цепи эволюционных преобразований внутри того или иного класса. В случае, когда стартовым является минерал другого класса, в название вместе с ним включается и ранее стартовавший минерал основной группы. Индекс подтипа парагенезиса складывается из обозначения парагенезиса и соответствующего порядкового номера в нем. Индекс, дополненный знаком “+М орг”, означает разновидности подтипов парагенезисов с органическими минералами.

Формирование парагенезисов в природных условиях генерализованно подчиняется ландшафтно-климатическим высотной и широтной зональностям, а в пределах отдельных ландшафтных зон – параметрам рельефа, составу водовмещающих отложений.

Оксид-гидроксидформирующий парагенезис формируется, главным образом, в атмосфере при взаимодействии осадков с частицами горных пород (пылью), а также в почвенных горизонтах и зонах трещиноватости карбонатных пород в условиях горных тундр, лугов, а иногда и тайги. Алюмосиликат-силикатформирующий и карбонатформирующий - наиболее регионально распространенные парагенезисы. Сульфатформирующий парагенезис формируется в среде миграции подземных вод лесостепных, степных ландшафтов. Парагенезисы с органическими минералами приурочены, главным образом, к среде миграции подземных вод средней тайги, где развита глеевая обстановка. В ассоциации с органическими минералами зачастую находятся фосфатные минералы.



Региональные закономерности распространения парагенезисов показаны на рис. 6 и в табл. 6.

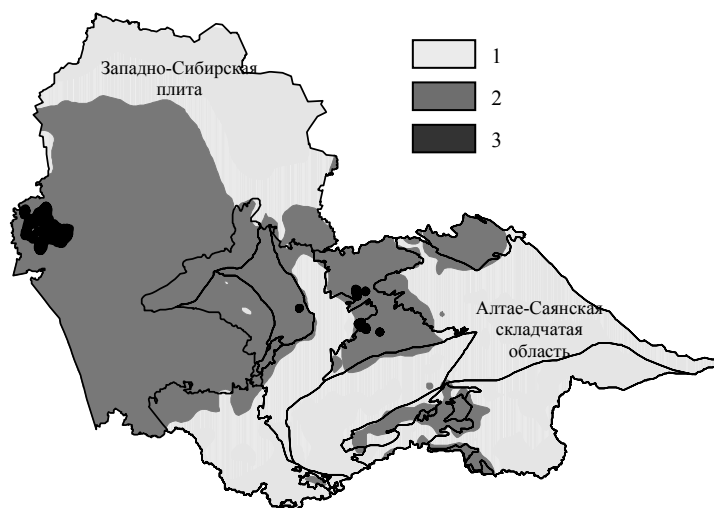


Рис. 6. Распространение основных типов парагенезисов региона:  
1-алюмосиликатформирующий (А-О); 2-карбонатформирующий (К-А-О);  
3-сульфатформирующий(С(К)-А-О)

Уже на атмосферном этапе в водах накапливается от 20 до 100 мг/л компонентов и формируется твердая фаза, состоящая, главным образом, из оксидов и гидроксидов, а в условиях южной тайги, лесостепных и степных ландшафтов – еще и в ассоциации с каолинитом.

На биогенном этапе, при взаимодействии с почвенными горизонтами, атмосферные осадки обогащаются углекислым газом, органическими кислотами и биогенными элементами, степень обогащения подземных вод которыми зависит от типа и характера почв. В примитивных почвах гольцовых ландшафтов она минимальна, в дерново-подзолистых почвах таежных ландшафтов достигает уровня формирования глинистых и железисто-марганцевых новообразований, а в лесостепных и степных ландшафтах - способности садки карбонатных и даже сульфатных минералов.

На литогенном этапе формирование парагенезисов наиболее стремительно по времени протекает в условиях гольцовых горно-тундровых и луговых ландшафтов. По нашим оценкам, основная разгрузка подземных вод здесь осуществляется в речные долины первого порядка, а длительность взаимодействия вод с горными породами составляет доли года. За это время 1 л воды разрушает 50 - 100 мг горных пород. Соленость подземных вод складывается из компонентов атмосферного и литогенного происхождения. Низкая интенсивность продуцирования углекислоты почвенными горизонтами способствует формированию слабо щелочных подземных вод. Основными процессами, определяющими гипергенные преобразования, являются растворение карбонатов и гидролиз алюмосиликатов. Наиболее распространенным является каолинитформирующий подтип парагенезиса.



В ландшафтах горной тайги и лесов основная разгрузка подземных вод осуществляется в речные долины второго порядка. Длительность взаимодействия вод с горными породами оценивается несколькими годами, а 1 л воды разрушает до 500 - 700 мг горных пород (табл. 7).

Таблица 7. Характеристика современного гипергенного преобразования водовмещающих пород ряда районов, расположенных в горно-таежных ландшафтах.

Районы исследований	Высотные условия	Водовмещающие отложения	Масса пород, разрушенной 1 л воды, мг	Состав вторичной твердой фазы	Масса вторичной твердой фазы, образовавшейся из 1 л воды, мг	Отношение распределения элементов между твердой и жидкой фазами, %	Модуль интенсивности, т/год·км <sup>2</sup>	
							разрушения первичных пород	образования вторичной твердой фазы
Саралинский (Кузнецкий Алагау)	Среднегорье	Вулканогенно-осадочные	70	Каолинит, гидрослюды	40	40:60	22.1	12.6
		Карбонатно-терригенные	85	Каолинит, гидрослюды	46	46:54	26.8	14.5
Ольховско-Чибикский (Восочный Саян)	Среднегорье	Карбонатные	140	-	-	0:100	30.9	-
		Вулканогенно-осадочные	70	Каолинит, гидрослюды	44	37:63	15.5	9.8
		Интрузивные (граниты, гранодиориты)	57	Каолинит, гидрослюды	32	44:56	12.6	6.9
Центральный (Кузнецкий Алагау)	Низкогорье	Интрузивные (граниты, гранодиориты)	127	Каолинит, гидрослюды	90	29:71	20.4	14.4
		Интрузивные (диориты, кварцевые диориты)	135	Каолинит, гидрослюды, монтмориллониты	95	30:70	21.7	15.2
Егорьевский (Салаир)	Предгорье	Вулканогенно-осадочные	525	Гидрослюды, монтмориллониты	325	38:62	33.0	20.0
		Карбонатно-терригенные	760	Гидрослюды	580		47.8	36.6
		Преимущественно карбонатные	710	Гидрослюды, каолинит, карбонаты	430	40:60	44.7	26.9

Высокая интенсивность продуцирования углекислоты почвенными горизонтами способствует формированию околонефтральных подземных вод. Основными процессами являются растворение карбонатов и гидролиз алюмосиликатов. Соленость подземных вод складывается примерно в равных долях из компонентов атмо-, био- и литогенного происхождения. Широко распространенными являются алюмосиликат-силикатная и алюмосиликат-силикат-карбонатная ассоциации новообразующихся минералов. Минералы первой из них занимают пространства таежных среднегорий и низкогорий, а второй - предгорий, всхолмленных возвышенностей и равнин.

В лесостепных и степных ландшафтах длительность взаимодействия вод с горными породами оценивается нами для горноскладчатых сооружений несколькими десятками, а для межгорных впадинах - сотнями лет. Широким распространением пользуются сульфатные натриевые щелочные воды с повышенной соленостью, формирующиеся благодаря разрушению первичных алюмосиликатов и гипса и способные к образованию вторичных алюмосиликатов и кальцита, а также содовые воды, обладающие карбонатформирующей (кальцит-, доломит-, арагонит- и даже давсонитформирующей) способностью. Особое значение в формировании этих типов вод приобретают гипсоносные горные породы и угленосные, зачастую пиритизированные, толщи. Возрастает роль процессов испарительного концентрирования вещества. Все это приводит к формированию разнообразных геохимических типов вод и ассоциаций вторичных минералов. Еще более сложен механизм формирования сульфатных натриевых околонейтральных вод с повышенной соленостью, способных к образованию алюмосиликатов и сульфатов (гипса), но не насыщенных относительно кальцита.

Многофакторность формирования парагенезисов определяет их высокую изменчивость не только в регионе, но и в пределах фрагментов геологических структур. Пример распространения алюмосиликат-силикатформирующего и карбонатформирующего парагенезисов на территории таежных ландшафтов Салаира (Егорьевский район) показан на рис. 7. Современное вторичное минералообразование здесь соответствует гетит-каолинит-гидрослюдистой и каолинит-гидрослюдисто-монтмориллонит-кварц-карбонатной стадиям выветривания. Минералы и минеральные ассоциации ранних стадий развиты на верхних уровнях глубинности гипсометрически приподнятых территорий, а поздних стадий - на глубоких уровнях и в гипсометрически низких условиях.

Состав разрушающихся пород отражается в раннем равновесии вод преимущественно алюмосиликатных пород с вторичными алюмосиликатными минералами поздних стадий. Это проявляется в меньшей глубине залегания и более высоком гипсометрическом положении зон вторичного образования минералов более поздних стадий, по сравнению с глубиной зон, обязанных выделению минералов из вод преимущественно карбонатных пород.

Воды наиболее чистых от алюмосиликатного материала известняков на территориях, характеризующихся наиболее интенсивным водообменном, т.е. в гипсометрически более высоких условиях, равновесны с каолинитом, а в более пониженных - с ассоциацией кварца и каолинита, следствием чего является окремнение известняков и формирование пеликанитов.

В водах вулканогенно-осадочных образований в состав равновесной вторичной фазы, кроме гидрослюды, входят гетит и монтмориллониты. Роль последних, с увеличением глубины проникновения вод, становится ведущей.

Вне зависимости от типа разрушающихся пород, воды рано или поздно становятся насыщенными и пересыщенными относительно вторичных карбонатов. Наибольшая скорость насыщения карбонатами и, соответственно, наиболее высокая гипсометрическая граница вторичного карбонатообразования характерны для вод, взаимодействующих с преимущественно карбонатными образованиями. Воды, разгружающиеся в долины 1-го порядка, равновесны, а в долины 2-го порядка уже пересыщены относительно кальцита (равновесные содержания кальция порядка  $100 \text{ мг/дм}^3$ ). В карбонатно-алюмосиликатных образованиях для насыщения нужен более длительный контакт вод с породами, а насыщение карбонатами вод преимущественно алюмо-

силикатных образований наступает лишь при длительности контакта, отвечающей разгрузке на уровне долин 4-го порядка, а карбонатообразование связано не столько с увеличением концентраций кальция, сколько с повышением pH раствора, вызванным как растворением кальцита, так и других породообразующих минералов. При повышении абсолютных отметок глубина расположения кровли зоны карбонатообразования увеличивается, уменьшаясь в пониженных частях территории.

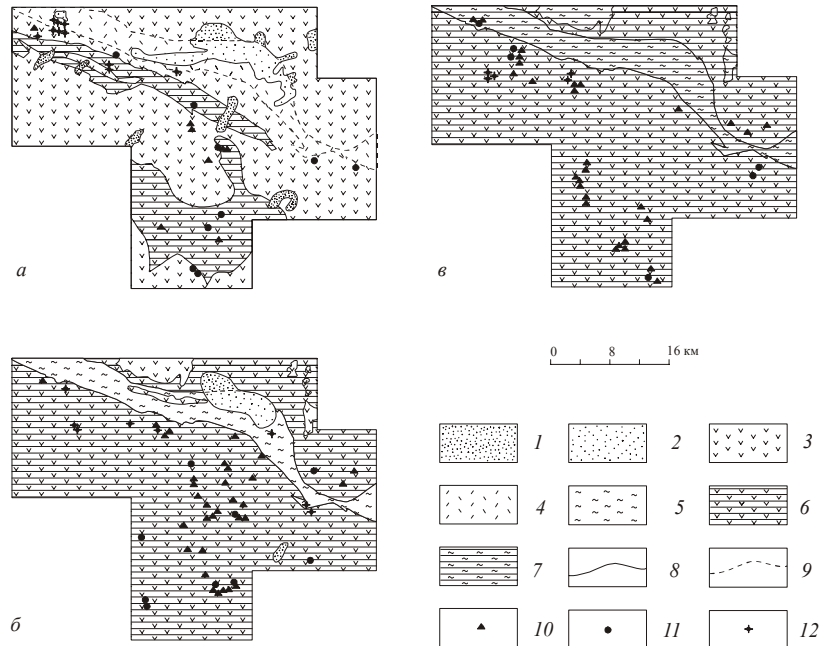


Рис. 7. Схематические карты вторичного минералообразования в зоне миграции подземных вод на глубине вреза долин: *a* - 2-го порядка; *б* - 3-го порядка; *в* - 4-го порядка. 1-2 - зона преимущественно каолинитообразования: 1 -- подзона каолинит-гидрохлоридно-гетитового состава; 2 - подзона каолинит-гетит-гидрохлоридного состава. 3-4 - зона преимущественного гидротермообразования: 3 - подзона гидрохлоридно-каолинит-гетитового состава; 4 - подзона гидрохлоридно-гетит-каолинитового состава. 5 - зона преимущественного монтмориллонитообразования. 6-7 - зона преимущественного карбонатообразования: 6 - подзона карбонатно-гидрохлоридного состава; 7 - подзона карбонатно-монтмориллонитового состава. 8 - границы зон; 9 - границы подзон. 10-12 - факты вторичного карбонатообразования: 10 - в реках; 11 - в родниках; 12 - в родниках с аномальными концентрациями сульфат-иона.

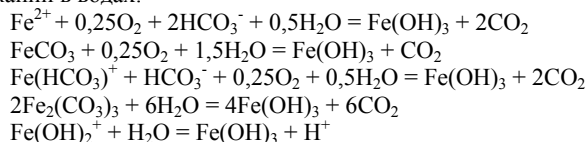
Кроме региональных парагенезисов существуют парагенезисы локального распространения, связанные, главным образом, с рудными месторождениями. В этих условиях формируются геохимические типы вод, из которых образование рудных разновидностей минералов начинается при меньшем количестве растворенных исходных пород и гораздо раньше по времени. Рудные карбонаты могут образовываться из вод, имеющих более низкую, чем в региональных условиях, минерализацию, но более вы-

сокие содержания минералообразующих элементов (в данном случае рудообразующих - Pb,Cu). Интересны пространственно ограниченные локальные парагенезисы соленоватых кислых сульфатных вод и формирующиеся из них ассоциации сульфатов, силикатов и флюорита. Карбонатные минералы в этой ассоциации, как правило, отсутствуют. Формирование таких парагенезисов в зоне гипергенеза рудных месторождений обязано растворению сульфидных минералов и, прежде всего, наиболее распространенного из них пирита. Например, в изученных нами на Салаирском (восточный Салаир) и Ольховском (Восточный Саян) месторождениях рудничных водах, характеризующихся низкими значениями pH, гидрокарбонатно-сульфатным, сульфатно-гидрокарбонатным составом, где концентрации сульфат-иона составляют сотни и тысячи мг/дм<sup>3</sup>, содержания микроэлементов (золота, свинца, цинка) весьма велики (Дутова, Бернатонис, 2002). Высокие концентрации элементов обеспечиваются именно активной растворимостью сульфидов, достигающей долей и даже целых г/дм<sup>3</sup>. Растворение сульфидов, имеющих, как правило, концентрации микрокомпонентов в сотни раз более высокие, чем породообразующие минералы (Прохоров, 1970; Коробейников, Пшеничкин, 1985), не только освобождает их (микрокомпоненты) из минерала-носителя, но и создает среду, благоприятную для накопления в растворе.

Проведенные исследования по изучению влияния эксплуатации месторождений подземных вод показали, что произошедшие за 20-30-летний период изменения гидродинамических условий, вызванные водоотбором и приводящие к формированию депрессионных воронок, сопровождаются трансформацией термодинамического состояния в системе вода – порода и, соответственно, гидрогеохимическими преобразованиями, выражающимися в изменении миграционной способности химических элементов, а в конечном итоге и качества вод. Особенности проявления таких воздействий, по нашему мнению, определяются, главным образом, общей ландшафтной спецификой соответствующих территорий.

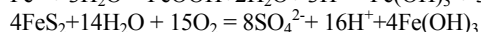
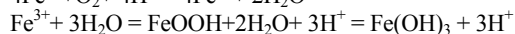
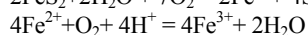
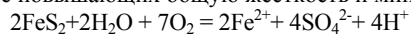
В среднетаежных ландшафтах ведущую роль в формировании подземных вод играют болота, а зона аэрации, в ее классическом понимании, не выражена, водоотбор из глубоких горизонтов приводит к перетокам и усилению инфильтрации высоко агрессивных кислых органоминеральных вод, соответственно к понижению pH и усилению миграционной способности железа в эксплуатируемом горизонте. Активизация водоотбора, особенно при слабой защищенности эксплуатируемых горизонтов и наличии литологических окон, способствует интенсификации болотного питания и, соответственно, оглеению недр. Именно такие процессы мы наблюдаем, например, при эксплуатации Стрежевского месторождения подземных вод. Подкисление вод, обогащение их органическими соединениями и, наконец, создание условий, благоприятных для миграции таких нормируемых элементов, как железо, являются типичными следствиями эксплуатации месторождений подземных вод в этих ландшафтных условиях.

В типичных южно-таежных ландшафтах водоотбор сопровождается аэрацией недр в зонах депрессионных воронок и последующим сдерживанием миграционной способности железа, выпадением его еще в пластовых условиях и уменьшением содержания в водах.





Переход железа из раствора в твердую фазу сопровождается выделением углекислоты или ионов водорода, повышающих кислотность среды и, соответственно, увеличивающих растворимость карбонатов и, как следствие, способствующих подвижности кальция, а с позиций характеристик качества – повышению общей жесткости и минерализации отбираемых подземных вод. Более того, эксплуатация месторождений подземных вод, водовмещающие породы которых пиритизированы, активизирует и окисление сульфидов в зоне аэрации и водосодержащей толще. Окисление сульфидов сопровождается подкислением вод, которое тут же расходуется на повышение растворимости карбонатных минералов. Появление же в составе вод более высоких концентраций сульфат-иона, в свою очередь, активизирует образование комплексных соединений, чем повышает и усиливает миграционную способность элементов. Поэтому воды способны содержать большие количества элементов, в том числе повышающих общую жесткость и минерализацию (Dutova et al., 1999).



Описанные механизмы изменений гидрогеохимических условий с пространственных позиций носят широкий площадной характер. Поступление же загрязнителей с поверхности или некондиционных вод из ниже залегающих горизонтов, на наш взгляд также имеет место, но с пространственных позиций носит локальный, ограниченный по площади характер.

## 6. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Вопросы, рассматриваемые в данной главе, связаны с совершенствованием теории и практики гидрогеохимического метода поисков рудных месторождений, в том числе весьма сложных в поисковом отношении месторождений золота. Особое внимание уделено формированию гидрогеохимического фона рудогенных элементов, разработке приемов количественной оценки выявленных рудных объектов, обоснованию поисковой значимости единичных точек наблюдения и оценке гидрогенной составляющей россыпей золота.

Определяющее место в формировании фона принадлежит вещественному составу водовмещающих пород и пространственно-временным факторам (рельеф, климат, интенсивность водообмена и проч.). Общепринятым и достаточно надежным приемом учета состава водовмещающих пород в формировании фона является разделение данных на отдельные породные совокупности. При разделении пространственно-временных данных возникает противоречие между стремлением учесть возможно большее количество факторов и неизбежным сокращением (теоретически до одной реализации) величины выборки, приводящее к уменьшению достоверности статистических расчетов. Вместе с тем, с позиций перераспределения вещества в равновесно-неравновесной системе “вода-порода” к формированию фона рассеянных элементов можно подойти со строгих теоретических позиций. Соображения, положенные в основу такого подхода базируются на следующем:

- основным носителем и поставщиком рассеянных элементов в водные растворы являются порообразующие минералы, содержащие лишь доли процента рассеянных элементов, но составляющие подавляющую массу водовмещающих пород;

- элементы, рассеянные в породообразующих минералах, переходят в водный раствор одновременно с разрушением последних по механизму конгруэнтного (например, кальцит или кварц) или инконгруэнтного (полево шпат, плагиоклазы, роговая обманка и прочие) растворения;

- элементы, вовлеченные в миграцию при разрушении горных пород, перераспределяются между гипергенными образованиями: часть элементов переходит в раствор, другая - связывается новообразующейся вторичной твердой фазой.

Соотношение перераспределенных элементов зависит от состава формирующихся твердых продуктов и характера геохимической среды. В условиях многофакторной системы оно зависит от состава разрушающихся пород и стадии эволюции системы «вода – порода». Поскольку для каждого конкретного условия между раствором и вторичной минеральной фазой устанавливается локальное термодинамическое равновесие, балансовое уравнение, характеризующее перераспределение элементов между водой и равновесной вторичной минеральной фазой, имеет вид:

$$Mn * Cn = Mn_{2o} * Cn_{2o} + M_{втф} * C_{втф},$$

где  $Mn$  - масса первичной горной породы, разрушенной 1 л воды, мкг;  $Mn_{2o}$  - масса петрогенных элементов в 1 л воды, мкг;  $M_{втф}$  - масса вторичной твердой фазы, образовавшейся из 1 л воды, мкг;  $Cn$  - концентрация рассеянного элемента в первичной горной породе, %;  $Cn_{2o}$  - доля рассеянного элемента в массе элементов, содержащихся в воде, %;  $C_{втф}$  - концентрация рассеянного элемента во вторичной твердой фазе, %.

Образование вторичной твердой фазы характеризуется стадийностью - по мере увеличения массы разрушающихся пород минералогический состав формирующейся твердой фазы сменяется от минералов с более простой кристаллической структурой к минералам с более сложной. В этом же направлении увеличивается масса твердой фазы и соотношение перераспределения элементов. В общем виде связь образующейся вторичной твердой фазы и разрушающейся породы можно выразить:

$$M_{втф} = K1 * Mn,$$

где  $K1$  - коэффициент перераспределения масс петрогенных элементов.

Коэффициент  $K1$  представляет собой отношение масс петрогенных элементов, перешедших в твердую фазу и раствор. Величина его по формальным признакам изменяется от нуля до единицы. При отсутствии вторичной твердой фазы, т.е. при конгруэнтном растворении пород до насыщения вод с ними или в самые начальные этапы разрушения алюмосиликатных пород, коэффициент  $K1$  равен нулю. При разрушении инконгруэнтно растворяющихся пород величина  $K1$  увеличивается со временем эволюции системы и в реальных условиях может достигать 0,8 - 0,9.

Масштабы перехода рассеянных элементов из раствора во вторичную твердую фазу определяются не только количеством формирующейся твердой фазы, но и полнотой ее связи с тем или иным удаляющимся из раствора рассеянным элементом. Эта связь может быть выражена зависимостью

$$C_{втф} = K2 * Cn,$$

где  $K2$  - коэффициент концентрирования рассеянных элементов во вторичной фазе.

Коэффициент  $K2$ , представляющий собой отношение содержаний рассеянных элементов во вторичной и первичной твердых фазах, выражает генетическое сродство того или иного рассеянного элемента с определенной вторичной твердой фазой и зависит как от внутренних свойств самого элемента и твердой фазы, так и от гидрогеохимических условий среды и стадии преобразования системы "вода-порода".

С учетом изложенного балансовое уравнение принимает вид, описывающий значения фоновых содержаний рассеянных элементов:

$$C_{H_2O} (мкг/л) = 0,01 M_n * C_n * (1 - K1 * K2).$$

В интервале значимых решений уравнения на произведение коэффициентов накладывается ограничение  $K1 * K2 \leq 1$ , которое может быть названо условием баланса масс и из которого вытекает необходимость зависимости коэффициента концентрирования рассеянных элементов ( $K2$ ) от коэффициента перераспределения масс ( $K1$ ). В связи с этим потенциально большие способности минералов поздних стадий образования к накоплению рассеянных элементов не могут быть реализованы полностью, а максимальная величина накопления последних оказывается фактически меньшей, чем у минералов начальных стадий.

Анализ характера эволюционных преобразований в системе вода-порода позволяет установить особенности поведения и, соответственно, ряд закономерностей в формировании фона отдельных групп элементов:

1. Элементы с постоянным для различной вторичной твердой фазы коэффициентом концентрирования и величиной его меньше единицы характеризуются увеличением содержаний во времени. Чем меньше величина коэффициента, тем выше значения фоновых содержаний и шире диапазон их изменчивости.

2. Элементы с постоянным коэффициентом концентрирования и величиной его, превышающей единицу, характеризуются первоначальным ростом и последующим уменьшением фоновых содержаний. Для элементов с большей величиной коэффициентов концентрирования характерны более раннее по времени уменьшение концентраций и меньший диапазон изменчивости.

3. Элементы с коэффициентом концентрирования, увеличивающимся от минералов начальных стадий к минералам поздних, характеризуются, как и в предыдущем случае, первоначальным ростом и последующим уменьшением содержаний.

4. Элементы с коэффициентом концентрирования, уменьшающимся от минералов начальных к минералам более поздних стадий, характеризуются увеличением содержаний во времени. Чем выше степень уменьшения коэффициентов во времени, тем активнее рост концентраций элементов.

Эти закономерности, применительно к природным условиям, означают, что изменчивость фоновых концентраций возможна во времени и пространстве: содержания элементов первой и четвертой групп будут увеличиваться, а элементов второй и третьей групп вначале увеличиваться, а затем уменьшаться по мере уменьшения интенсивности водообмена, т.е. с глубиной проникновения вод и понижением высотных условий. Поэтому поведение рассеянных элементов в водах будет подчиняться как вертикальной, так и горизонтальной зональности. При изучении пространственно-временной изменчивости фона на конкретных природных объектах мы можем иметь дело с различными временными интервалами эволюции и оказаться перед фактом изменения как фоновых, так и аномальных содержаний элементов, причем изменения в зависимости от этапа развития системы могут быть различными по знаку и весьма существенными по абсолютным значениям. Изменчивость концентраций и масштабы накопления во времени больше у элементов с меньшими коэффициентами концентрирования, т.е. у наиболее подвижных элементов, по общепринятой терминологии.

Таким образом, для расчета фоновых содержаний какого-либо рассеянного элемента в водах необходимы оценка современного гипергенного преобразования пород (растворимости исходных горных пород и соотношения перераспределения элементов

между водой и новообразующейся твердой фазой), сведения о содержаниях его (элемента) в первичных породах и вторичных минеральных образованиях.

Предлагаемый подход особенно важен при опробовании единичных водопроявлений, таких как, скважины, вскрывающие внутренние части геологического разреза, и источники разгрузки вод зон разрывных нарушений, с металлогенических позиций благоприятных для локализации рудных объектов. Их количество обычно недостаточно для проведения статистических приемов обработки данных, что затрудняет использование этой уникальной по глубинности и металлогенической предрасположенности информации.

Этим подходом можно воспользоваться и для прогнозной оценки ресурсов разрушающихся рудных объектов. Уравнение для оценки ресурсов рудного объекта, представленное в самом общем виде, может быть записано следующим образом:

$$P = C_n \cdot V \cdot \gamma,$$

где  $P$  - ресурсы рудного объекта, т;  $C_n$  - концентрация рудогенного элемента в разрушающихся породах, %;  $V$  - объем разрушающихся пород рудного объекта, м<sup>3</sup>;  $\gamma$  - объемный вес пород в разрушающемся рудном объекте, т/м<sup>3</sup>.

Приведенное выражение внешне мало отличается от уравнений, используемых в рудной геологии, однако, внутренняя структура его резко отлична, что находит отражение в подходе к определению входящих величин. Если в рудной геологии объемы определяются на основании картографического материала и данных бурения, а концентрации - по результатам анализа геохимических проб, то в нашем случае определение этих параметров опирается на балансовые расчеты, обоснование которых приведено ранее, и морфоструктурно-гидрогеологические построения.

Наиболее корректным определением концентрации рудогенного элемента по гидрогеохимическим данным является при одновременном опробовании подземных вод и соответствующих им вторичных минеральных образований. В этом случае

$$C_n = (100 \cdot C_{H_2O} + M_{втф} \cdot C_{втф}) / M_n,$$

где  $C_n$  - концентрация рассеянного элемента в первичной горной породе, %;  $C_{H_2O}$  - концентрация рассеянного элемента в подземных водах, мкг/л;  $C_{втф}$  - концентрация рассеянного элемента во вторичной твердой фазе, %;  $M_{втф}$  - масса вторичной твердой фазы, образовавшейся из 1 л воды, мкг;  $M_n$  - масса первичной горной породы, разрушенной 1 л воды, мкг.

Входящие в уравнение концентрации рудогенного элемента в подземных водах и вторичной твердой фазы определяются прямым анализом проб, отобранных при натурном обследовании территории, а массы разрушающейся породы и формирующейся вторичной твердой фазы, приведенные к 1 л воды, - балансовыми расчетами. Учитывая стоящие перед подобными расчетами задачи (ориентировочная оценка ресурсов рудного объекта), можно говорить об их высокой эффективности. Выполненные нами по приведенным формулам расчеты для водопроявлений шхт. Северной Центрального района вполне согласуются с данными непосредственно геохимического опробования.

Приведенные выше соображения использованы для обоснования рудогенерирующей роли подземных вод на примере наиболее проблемных в этом отношении золоторудных объектов. Распределение золота в водах нами было изучено на территории Егорьевского золоторудного района Салаира, характеризующегося повышенной растворимостью водовмещающих пород и наличием золото-сульфидной минерализации, и Центрального рудного поля Кузнецкого Алатау (Дутова, 1998; Шварцев,

Дутова, 2000), характеризующегося, главным образом, кварц-золоторудной минерализацией в гранитоидах, минералы которых имеют низкую растворимость в природных водах зоны гипергенеза.

Механизмы мобилизации золота определяются формой его нахождения в конкретных минеральных фазах, а также характером и степенью растворения и выщелачивания горных пород или руд в условиях конкретной геохимической обстановки. Золото, рассеянное в породообразующих минералах, переходит в водный раствор одновременно с их конгруэнтным (кальцит, доломит, кварц) или инконгруэнтным (полевой шпат, плагиоклазы, роговая обманка) растворением и перераспределяется между жидкой и новообразующейся твердой фазами.

Балансовые расчеты, проведенные нами на основе средних показателей современного гипергенного преобразования пород и сведений о содержаниях золота в первичных и вторичных образованиях, показали, что в фоновых условиях Егорьевского района каждый литр воды, растворяя различные водовмещающие отложения-носители золота, вовлекает в гипергенную миграцию 3,41 – 3,95 нг золота. Большая доля такого золота обеспечивает при этом формирование его содержаний в водах на уровнях, сопоставимых с величинами измеренных средних значений (табл. 8). Водам преимущественно алюмосиликатных, карбонатно-алюмосиликатных образований, с металлогенических позиций наиболее благоприятных для локализации золотого оруденения, свойственны более высокие средние значения содержаний золота.

Таблица 8. Содержания золота в водах разных типов пород Егорьевского района, нг/л

Параметры	Все типы подземных вод, в целом	Воды разных типов водовмещающих пород			
		Преимущественно алюмосиликатных (Срѐ)	Карбонатно-алюмосиликатных (Сsng)	Карбонатно-алюмосиликатных (D <sub>2</sub> )	Преимущественно карбонатных (Скт)
Пределы	0,36-24,0	0,43-23,5	0,36-23,8	1,36-9,19	0,74-7,1
Среднее	3,22	3,04	3,66	3,66	2,44
Число анализов	360	103	170	26	23

В фоновых условиях Центрального рудного поля каждый литр воды, растворяя гранитоиды, вовлекает в гипергенную миграцию значительно меньшие количества (0,46 нг) золота, при этом обеспечивает формирование его содержания в водах на уровне 0,22 нг/л. Такой же порядок содержаний, составляющих десятые доли, редко целые, при средних 0,2 нг/л, мы видим и по реальным измеренным значениям золота в водах этого района.

Дальнейшее поведение золота определяется особенностями эволюции соответствующей фазы-носителя (твердой или жидкой). Часть золота, связанная твердой фазой, в ходе денудационных эрозионных процессов выносится за пределы рудных объектов и концентрируется, создавая в той или иной степени обогащенные золотом горизонты в осадках речных долин и почвах. Растворенное золото рассеивается с водными потоками, однако при определенных условиях способно к концентрированию и образованию элементарных форм. В пользу этого имеется множество доказательств (Нестеренко и др., 1985; Росляков, 1981; Белеванцев и др., 1982; Димон и др., 1982; Варшал и др., 1984; Погребняк, 1983; Королева и др., 1984; Казьмин, Королева, 1990; Абрамов и др., 1993).

Формы миграции растворенного золота и способность вод к его выведению из раствора с образованием самостоятельной самородной твердой фазы рассчитывались нами для фоновых вод северо-западного Салаира и рудничных вод Салаирского промышленного месторождения - яркого представителя колчеданно-полиметаллической формации, содержащей золоторудную минерализацию. Расчеты проведены с использованием программного комплекса HG32 (Букаты, 2002). Рассчитывались как собственные, так и комплексные формы миграции:  $Au^{3+}$ ,  $AuS^-$ ,  $AuHS$ ,  $AuH_2S^+$ ,  $(Au(HS)_2)^-$ ,  $AuH_3S_2$ ,  $(Au(H_2S)_2)^+$ ,  $(AuCl)_2^-$ ,  $(AuCl)_4^-$ ,  $Au^+$ ,  $AuOH$ ,  $AuOHCl$ ,  $(Au_2H_2S_3)^{2-}$ .

В среде пресных гидрокарбонатных кальциевых вод, образованной растворением породобразующих минералов-носителей, миграция истинно-растворенного золота осуществляется, главным образом, в виде гидроксокомплексов, причем воды с концентрацией золота в 3-4 нг/л, уже способны к выведению золота из раствора и новообразованию твердой металлической составляющей (табл. 9).

Таблица 9. Особенности миграции и концентрирования золота в подземных водах Салаира

Характеристика вод				Формы миграции золота*			Способность вод к новообразованию гидрогенного золота**
pH	Eh	Тип вод	Минерализация, г/л	Главные	Второстепенные	Редкие	
7,4	300	HCO <sub>3</sub> -Ca	0,4	AuOHCl <sup>-</sup>		AuOH	+
	100	HCO <sub>3</sub> -Ca	0,4	AuOHCl <sup>-</sup>		AuOH	+
	0	HCO <sub>3</sub> -Ca	0,4	AuOHCl <sup>-</sup>		AuOH	+
6,9	500	SO <sub>4</sub> -Ca	2,2	AuOHCl <sup>-</sup>		AuOH, AuCl <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+
	200	SO <sub>4</sub> -Ca	2,2	AuOHCl <sup>-</sup>		AuOH, AuCl <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+
	0	SO <sub>4</sub> -Ca	2,2	AuHS, AuOHCl <sup>-</sup>	AuH <sub>2</sub> S <sup>+</sup>		+
4,1	0	SO <sub>4</sub> -Ca	1,2	AuH <sub>2</sub> S <sup>+</sup> , AuHS			-
2,6	500	SO <sub>4</sub> -Ca	1,3	AuCl <sub>2</sub> <sup>-</sup> , AuOHCl <sup>-</sup>		Au <sup>+</sup>	+
	200	SO <sub>4</sub> -Ca	1,3	AuH <sub>2</sub> S <sup>+</sup>			-
	0	SO <sub>4</sub> -Ca	1,3	AuH <sub>3</sub> S <sub>2</sub> , Au(H <sub>2</sub> S) <sub>2</sub> <sup>+</sup>			-

Примечание: \* главные – доля форм которых более 25 %; второстепенные – от 1 % до 25 %, редкие – от 0,1 % до 1 % валового содержания; \*\* + “ - высокая, “ - “ - низкая

В восстановительных условиях, в кислых средах сульфатных растворов преобладающими являются серосодержащие комплексы золота. Формирующиеся кислые среды рудничных вод, способны значительно увеличивать растворимость золота. При смене восстановительных условий на окислительные серосодержащие комплексы золота, переходят в гидроксокомплексы, растворимость золота падает и происходит почти полное его выделение в форму Au<sup>0</sup>. По мнению ряда авторов, именно механизм выведения золота из обогащенных растворов является основным при формировании золотоносных россыпей (Шишкина, Дмитриев, 1991). В то же время, на наш взгляд, формирование гидрогенной составляющей россыпей может быть обусловлено поступлением золота из фоновых вод.

Способность вод к концентрированию золота многократно усиливается в среде аллювиальных отложений речных долин, где создается целый ряд условий (фильтрационных, термодинамических и пр.), благоприятствующих гидрогенному золотообразованию. Аллювиальные отложения, составляющие лишь доли процента от объема

генерирующего пространства, выступают в качестве фильтров, принимающих восходящую разгрузку вод коренных пород, являющихся в этом случае областью генерации и транзита продуктивной фазы. Генерализованные потоки вод собственно четвертичных отложений, богатых кислородом и активных в физико-химическом отношении, смешиваются здесь с восходящими потоками вод коренных пород, характеризующимися более восстановительными средами что создает благоприятные условия для гидрогенного минералообразования, в т.ч. и золотого. Центрами минералообразования для вновь образующегося гидрогенного золота становится крупное гипогенное золото, обладающее химической инертностью, но в силу тесного химического сродства, формирующее с ним прочнейшие связи, каких золото не образует с другими минералами.

Количественная оценка гидрогенного концентрирования золота выполнена нами для Егорьевского района, известного широким распространением аллювиальных россыпей. Расчеты произведены для усредненной линейной продуктивности осаждения гидрогенного золота, приведенной к 1 км протяженности аллювиальных отложений речных долин различных порядков. В качестве расчетной величины для оценки количества золота, участвующего в минералообразовании, с достаточным запасом прочности принята концентрация в 1 нг/л, достоверность которой вытекает из результатов физико-химических расчетов и анализа фактической изменчивости концентраций золота в водах, где явно идет процесс минералообразования. Как видно из табл. 10, воды, разгружающиеся в долины 4-5 порядков, имеют вдвое более низкие содержания золота, по сравнению с водами, разгружающимися в долины первых порядков.

Таблица 10. Содержания золота в водах Егорьевского района, разгружающихся в речные долины разных порядков, нг/л

Параметры	Порядки речных долин			
	1	2	3	4 - 5
Пределы	0,43-15,8	0,42-23,3	0,44-21,5	0,34-4,36
Среднее	3,31	3,29	2,95	1,71
Число анализов	37	114	121	12

В числе параметров, контролирующих объем подземных вод, участвующих в минералообразовании, приняты средние значения линейных расходов подземного питания. Длительность процесса принята отвечающей времени формирования основной массы аллювия, которое, согласно ориентировочным хроностратиграфическим оценкам, составляет от 10 тыс. лет для долин 2-го порядка до 50 тыс. лет для долин 5-го порядка.

Результаты расчетов, приведенные в табл. 11, показывают, что линейные расходы подземных потоков способны обеспечить формирование от 1,2 до 19,7 кг/км гидрогенного золота.

Таблица 11. Оценка масштабов гидрогенного концентрирования золота

Характеристики бассейнов	Единицы измерения	Порядки долин			
		2	3	4	5
Линейный расход подземного питания рек	л/(с·км)	3,7	4,4	5,8	12,5
Время формирования осадков	тыс.лет	10	15	25	50
Концентрация золота, пошедшего на формирование гидрогенной составляющей	нг/л	1	1	1	1
Линейная продуктивность гидрогенного золота	кг/км	1,2	2,1	4,5	19,7
Линейная продуктивность золота в россыпях*	кг/км	57	98	126	153
Доля гидрогенного золота	%	2	2	4	13

Примечание: \*по оценкам С.В.Колтунова

Доля такого золота составляет от 2 до 13 % от средней линейной продуктивности россыпей, что уже сопоставимо с долей высокопробных гипергенных разностей, которая, по оценкам Г.В.Нестеренко, достигает 10-40 %. Следует напомнить, что указанные значения определены при минимальных значениях концентраций и расходов, вариации которых могут достигать 2-2,5 раз. Это позволяет утверждать, что расчетная гидрогенная составляющая может быть существенно увеличена.

Тем самым реально доказана возможность реализации потенциала рудогенерирующих процессов, заложенного в механизмах эволюционного развития системы вода-порода, а точнее фундаментального свойства системы вода-порода, заключающегося в способности избирательно концентрировать в растворе элементы за счет водовмещающих горных пород и на определенном этапе формировать из них рудные минералы, постулированной ранее С.Л.Шварцевым (1995).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В пределах Алтае-Саянской складчатой области и ее платформенного обрамления происходит формирование широкого спектра геохимических типов вод зоны гипергенеза умеренного климата горно-складчатых и платформенных (равнинных) сооружений, равновесных с весьма обширным набором минералов. В Алтае-Саянской области при снижении абсолютных отметок земной поверхности, уменьшении степени расчлененности рельефа и смене ландшафтных условий от горных тундр и альпийских лугов (высокогорье) через умеренно влажную лесную зону (среднегорье) до лесостепных ландшафтов с черноземными почвами, а в прилегающих территориях Западной Сибирской платформы с севера на юг, под влиянием широтной смены ландшафтов, происходит увеличение общей минерализации подземных вод и рост содержания большей части химических элементов, увеличение роли комплексных форм их миграции и расширение спектра минералов равновесной вторичной фазы.

Важнейшую роль в формировании химического состава подземных вод играет вторичное гидрогенное минералообразование. В процессе эволюционного развития системы вода-порода минералы равновесной вторичной фазы выводят из подземных вод элементы, лимитируя уровень их накопления в жидкой фазе и предопределяя тем самым условия для закономерной смены геохимических типов подземных вод.

Основной закономерностью эволюционных преобразований системы является стадийность вторичного минералообразования и, следовательно, формирования химического состава подземных вод. В соответствии с длительностью эволюционного процесса, определяющейся временем взаимодействия подземных вод с породами, т.е. интенсивностью водообмена, зависящей от гидрогеодинамической обстановки и, главным образом, от параметров рельефа, стадийность находит отражение в парагенетических ассоциациях гипергенных продуктов. Основными парагенезисами в регионе являются оксид-гидроксидформирующий, алюмосиликатформирующий, карбонатформирующий и сульфатформирующий парагенезисы, каждому из которых присущи совершенно определенные геохимические типы подземных вод и ассоциации вторичных минеральных новообразований. Варианты возможных композиционных составов и количественных соотношений минералов вторичной твердой фазы, наличие или отсутствие тех или иных минералов в ней, изменения кислотности жидкой фазы и ее состава, "старт" того или иного минералообразования и соотношение перераспределения элементов между твердой и жидкой фазами определяются степенью преобразования горных пород и парциальным давлением углекислоты.



В пределах рудных месторождений подземные воды характеризуются пестротой состава, появляются их геохимические типы, несвойственные для соответствующих ландшафтно-климатических условий, возрастают концентрации практически всех элементов, значительно расширяются спектры форм миграции элементов и их миграционные возможности, которые ограничиваются способностью элементов к формированию вторичных твердых фаз.

Рудогенные элементы (марганец, барий, свинец, стронций, золото и др.) на определенном этапе взаимодействий в системе вода-порода способны к вторичному минералообразованию в виде собственных минералов даже из фоновых вод.

Эволюционные механизмы мобилизации, переноса и концентрирования рудогенных элементов, в том числе и рассмотренного нами золота, являются частью общего рудогенерирующего процесса, присущего системе вода-порода в целом. Масштабы концентрирования золота определяются физико-химическими процессами вторичного минералообразования, количеством вод, участвующих в минералообразовании, и длительности этого процесса. По мере увеличения времени взаимодействия воды с горными породами содержания золота растут, достигая уровня формирования самостоятельных минеральных форм. С общих гидродинамических позиций для формирования гидрогенного низкотемпературного золота наиболее благоприятны долины рек крупных порядков.

Результаты работы представляют интерес как в теоретическом отношении (вопросы формирования подземных вод, эволюции гидрогеохимических сред, вторичного минералообразования и др.), так и с точки зрения решения широкого круга прикладных задач.

Проведенные исследования, учитывающие гидродинамические особенности и геологическую деятельность подземных вод региона, открывают перспективы для разработки новых методов в технологии поисков новообразующихся рудных объектов и, прежде всего, россыпных золоторудных, характеризующихся экономической привлекательностью, а также способствуют совершенствованию приемов прогнозирования первичных рудных месторождений. Разработанные приемы оценки гидрогеохимического фона, содержания рудогенных элементов в разрушающихся породах и ресурсов рудных объектов позволяют существенно повысить информативность интерпретации результатов поисково-разведочных работ и могут использоваться на любых их стадиях.

Результаты исследований могут быть использованы и при решении проблем, связанных с поисками, разведкой, эксплуатацией месторождений подземных вод и организацией экологически безопасного водоснабжения, а также при обосновании экологических мероприятий по охране вод от загрязнения, что может дать большой экономический и социальный эффект. Перспективно расширение исследований по оценке и прогнозированию эволюционных изменений гидрогеохимических условий, вызванных техногенным воздействием, в том числе и эксплуатацией месторождений различных полезных ископаемых. В частности, при решении технологических вопросов водоподготовки на месторождениях подземных вод необходимо учитывать прогноз эволюционных изменений гидрогеохимических условий, вызванных эксплуатацией, что иногда может привести к пересмотру первоначально выбранных технологических схем. Вторичные минеральные новообразования, формирующиеся в водной среде и интегрально отражающие ее состояние в период образования осадка, могут служить дополнительным источником информации об экологическом состоянии тер-

ритории и, соответственно, могут быть использованы для ретроспективного восстановления и анализа ситуаций в соответствующие периоды времени. Интересны и важны, на наш взгляд, дальнейшие исследования механизмов поступления, трансформации и транспортировки загрязняющих веществ в водонапорных системах.

#### СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Водные ресурсы Ширинского района Республики Хакасия (Раздел «Водоснабжение населения») / В.П. Парначев, И.И. Вишневецкий, ...**Е.М. Дутова** [и др.].-Томск: изд-во ТГУ, 1999.-171 с.
2. Обеспечение населения Республики Хакасия питьевой водой / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, К.И. Кузеванов [и др.].- Абакан, КПП по РХ, 1999.-118 с.
3. Подземные воды Республики Хакасия и водоснабжение населения / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, А.А. Булатов, К.И. Кузеванов.-Томск: Изд-во НТЛ, 2001.-300 с.
4. Минеральные новообразования на водозаборах Томской области / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, Г.М. Рогов [и др.]. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 176 с.
5. Путеводитель по природным водам полигона учебных геологических практик в Северной Хакасии / Ю.Г. Копылова, **Е.М. Дутова**, Б.Д. Васильев [и др.].-Томск: Изд-во ТПУ, 2005.- 151 с.
6. Шварцев С.Л. Применение методов физико-химического моделирования при гидрогеохимических поисках рудных месторождений в условиях юго-востока Западной Сибири / С.Л. Шварцев, Ю.Г. Копылова, **Е.М. Дутова** // Физико-химическое моделирование в геохимии и петрологии: тез. Всес. совещ.- Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1980.– С. 161-163.
7. **Дутова Е.М.** Изучение условий формирования химического состава вод при выделении и обосновании гидрогеохимических аномалий / **Е.М.Дутова**, Ю.Г.Копылова, Д.Т.Салимбаева [и др.] // Гидрогеохим. методы поисков рудных месторождений.- Новосибирск: Наука, 1982.- С. 172-177.
8. **Дутова Е.М.** Роль морфоструктурного метода при геохимическом районировании и некоторые вопросы применения геохимических поисков на юго-востоке Западной Сибири / **Е.М.Дутова**, Ю.Г.Копылова, А.А.Лукин, Н.И.Уразлин // Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений.- Новосибирск: Наука, 1982.- С. 129-136.
9. **Дутова Е.М.** Взаимодействие подземных вод с гранитоидами Центрального массива / **Е.М.Дутова**, С.В.Власов // Геохимия и геофизика Восточной Сибири: тез. XI конф. молодых сотрудников.- Иркутск, 1984. - С.165-166.
10. **Дутова Е.М.**, Пути совершенствования поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния / **Е.М.Дутова**, С.Л.Шварцев // Гидрогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых: тез. Всесоюз. совещ.- Томск, 1986.- С. 62-63.
11. **Дутова Е.М.** Изучение современного карбонатообразования Алтае-Саянской складчатой области / С.Л.Дутова, С.Л.Шварцев, Ю.Г.Копылова // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления: тез. конф.-Тюмень, 1987.- С. 28-29.

12. Shvartsev S.L. Hydrogeochemical criteria of ore deposits exploration in siberian conditions / S.L. Shvartsev, N.M. Rasskasov, U.G. Kopylova, **Е.М. Dutova** // 12-th international geochemical exploration symposium. 4-th symposium on methods of geochemical prospecting. - Orleans - France, 1987. P. 109.
13. Шварцев С.Л. Распределение изотопов углерода в подземных водах низкогорных районов юго-востока Западной Сибири / С.Л.Шварцев, Н.К.Григорьев, **Е.М.Дутова**, Ю.Г.Копылова // Изотопы в гидросфере: тез. 3-го Всесоюзного симпозиума, г. Каунас.- Москва, 1990.-С. 326-327.
14. **Дутова Е.М.** Изучение современных гипергенных преобразований, связанных с взаимодействием вод с породами // Физико-химическое моделирование в геохимии и петрологии на ЭВМ: матер. II Всес. совещ., ч. 2. - Иркутск, 1988.- С. 65-67
15. Копылова Ю.Г. Гидрохимическая карта северо-западного Салаира как элемент локального металлогенического анализа и прогноза / Ю.Г. Копылова, **Е.М. Дутова**, В.Я. Бычков [и др.] // Геохимические критерии прогнозной оценки оруденения.- Новосибирск: Наука, 1990.- С. 129-134.
16. Копылова Ю.Г. Опыт применения гидрогеохимического метода при поисках полезных ископаемых на северо-западном Салаире / Ю.Г. Копылова, Э.И. Большаков, **Е.М. Дутова** [и др.] // Гидрогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых.- Новосибирск: Наука, 1990.- С. 55-71.
17. Рогов Г.М. Некоторые проблемы водоподготовки на водозаборах из подземных источников / Г.М. Рогов, Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова** // Изв. вузов. Строительство.- 1993.-№ 9.- С. 98-102.
18. **Дутова Е.М.** Особенности геохимии подземных вод ряда районов Алтае-Саянской складчатой области / **Е.М. Дутова**, Д.С. Покровский // Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской складчатой области.- Новокузнецк, 1995.- С. 63-66.
19. Вологодина И.В. Минеральные новообразования подземных водозаборов г.Томска / И.В. Вологодина, **Е.М. Дутова**, Д.В.Лычагин, Д.С.Покровский // Проблемы геологии Сибири.- Томск: Изд. ТГУ, 1996.- С. 294-295.
20. Основы практической гидрогеологии и инженерной геологии / Т.Я. Емельянова, К.И.Кузеванов, **Е.М.Дутова** // Учебное пособие.- Томск: Изд.ТПУ, 1997.- 78 с.
21. **Дутова Е.М.** Гидрогеохимические особенности Центральнинского рудного района // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: матер. конф.- Томск: Изд-во ТГУ, 1998.- Т. 3.-С. 257-260.
22. **Dutova E.M.** The chemical and microbiological composition of urban groundwater, Tomsk, Russia / **E.M.Dutova**, N.G. Nalivaiko, K.I. Kuzevanov, J.G. Kopylova // Proceedings of the XXVIIth Congress IAH. -Nottingham, UK, 1998. -v.2, P. 371-376.
23. Вологодина И.В. Изучение минеральных новообразований подземных водозаборов г.Томска / И.В.Вологодина, Д.В.Лычагин, **Е.М. Дутова** // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Т. 3.- Томск: ТГУ, 1998. С. 38-42.
24. Копылова Ю.Г. Эколого-геохимическое состояние горно-таежных ландшафтов Салаира / Ю.Г.Копылова, **Е.М.Дутова**, Т.И.Романова // Обской Вестник. 1999, № 3-4.- С. 100-104.

25. Покровский Д.С. Опыт разработки региональных программ по обеспечению населения питьевой водой / Д.С. Покровский, Г.М. Рогов, **Е.М. Дутова**, К.И. Кузеванов // Техника и технология очистки и контроля качества воды: тр. междунар. конф.-Томск, ТПУ, 1999.-С. 32-35.
26. Покровский Д.С. Методические аспекты разработки комплексной целевой программы «Обеспечение населения Республики Хакасия питьевой водой» / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, К.И. Кузеванов // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока Сибири. Т.1.-Томск, 2000.-С. 433-435.
27. Покровский Д.С. Проблемы загрязнения подземных вод нефтепродуктами в Республике Хакасия / Д.С. Покровский, Н.Г. Наливайко, **Е.М. Дутова**, и др. // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока Сибири. Т.П.-Томск, 2000.-С. 231-234.
28. **Дутова Е.М.** Химический и микробиологический состав подземных вод и поверхностных водопоявлений территории Томска / **Е.М. Дутова**, К.И. Кузеванов, Д.С. Покровский и др. // Материалы регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока Сибири. Т.1.-Томск, 2000.-С. 373-375.
29. Покровский Д. С. Минеральные новообразования водозабора Томского Академгородка / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, И. В. Вологодина // Минералогия техногенеза - 2000.-Миасс: Имин УрО РАН, 2000.-С. 172-175.
30. Покровский Д.С. Проблемы водоснабжения населения юга Сибирского региона / Д.С. Покровский, Г.М. Рогов, **Е.М. Дутова**, В.С. Москашлишин // Вестник ТГАСУ.- 2000.- №2.- С. 159-169.
31. Покровский Д. С. Изучение процессов минералообразования на водозаборах Томской области / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, И.В.Вологодина // Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность / Тр. III междунар. науч.-практич. конф.- Кемерово: СибГИУ ЗАО «Экспо-Сибирь», 2000.- С. 69-70.
32. **Дутова Е.М.** Особенности формирования гидрогеохимического фона рассеянных элементов в условиях гумидного климата // Материалы регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока Сибири. Т.1.-Томск, 2000.- С. 369-372.
33. Poliyenko A.K. Urinary stones investigation and influence of the water factor to their formation in a human organism / A.K. Poliyenko, **Е.М. Dutowa** // Proceedings KORUS 2000 The 4th Korea-Russia International Symposium Science and Technology at the University of Ulsan, Republic of Korea, 2000.- P. 278-283
34. Волкотруб Л.П. Изучение влияния состава питьевых вод на состояние мочевыводящей системы животных (экспериментальные исследования) / Л.П. Волкотруб, **Е.М. Дутова**, Н.Ю. Мотовилова и др. // Проблемы геологии и геохимии юга Сибири: матер. научной конференции.- Томск, 2000.- С. 181-185
35. **Дутова Е.М.** Геохимия подземных вод и процессы вторичного минералообразования на северо-западном Салаире // Известия ТПУ.- Т. 304, Вып. 1.- 2001.- С. 244-261
36. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия, механизмы и масштабы мобилизации золота в зоне гипергенеза (на примере Центрального рудного поля Кузнецкого Алатау) / С.Л. Шварцев, **Е.М. Дутова** // Геология рудных месторождений.- 2001.- №3.- С. 252-264.

37. Покровский Д.С. Проблемы водоснабжения населения Томской области / Д.С. Покровский, Ю.В. Макушин, **Е.М. Дутова**, Г.М. Рогов // Вестник ТГАСУ.- 2001.- №1.- С. 154-165.
38. Покровский Д.С. Минеральные новообразования на водозаборе г.Стрежевого/ Д.С. Покровский, **Е.М.Дутова**, И.В. Вологодина и др. // Вестник ТГАСУ. - 2001.- №1.-С. 136-146.
39. **Дутова Е.М.** Неорганические формы миграции химических элементов в подземных водах Алтае-Саянской складчатой области / **Е.М. Дутова**, Н.В. Душехватова, О.Н. Соловьева, Е.В. Сергеев // Гидрогеология и инж. геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: матер. межд. научн.-техн. конфер. «Горно-геол. образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства».-Томск: Изд-во ТПУ, 2001.- С. 17-23.
40. Наливайко Н.Г. Экогеохимические особенности родников на территории города Томска/ Н.Г. Наливайко, К.И.Кузеванов, **Е.М.Дутова** // Обской вестник.- 2001.- № 1-2.- С. 81-89.
41. Покровский Д.С. Минеральные новообразования на Томском водозаборе из подземных источников / Д.С.Покровский , **Е.М. Дутова**, И.В. Вологодина // Обской вестник.- 2001.- № 1-2.-С. 13-21.
42. **Дутова Е.М.** Химический состав и качество вод хозяйственно-питьевого назначения Республики Хакасия / **Е.М. Дутова**, Д.С.Покровский // Обской вестник.- 2001.- № 1-2.-С. 113-121.
43. Полиенко А.К. Выявление корреляции между минерально-геохимическими особенностями мочевых камней и составом питьевой воды / А.К. Полиенко, **Е.М. Дутова** // Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования: матер. конфер.- Чита, 2001.-С. 303-304.
44. **Дутова Е.М.** Геохимия подземных вод Ольховско-Чибийского рудного района / **Е.М. Дутова**, В.К. Бернатонис // Известия ТПУ.- 2002.- Т. 305.- Вып. 6.- С. 366-379.
45. Покровский Д.С. Состав минеральных новообразований на водозаборах из подземных источников Томской области / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, Г.М. Рогов, И.В. Вологодина // Изв. вузов. Строительство.- 2002.- № 4. - С. 92-96.
46. Покровский Д.С. Природно-техногенное минералообразование на фильтрах обезжелезивания водозабора Томского Академгородка / Д.С. Покровский, **Е.М. Дутова**, И.В. Вологодина, А.С. Тайлашев // Известия ТПУ.- 2002.-Т. 305.- Вып. 6. - С. 319-329.
47. **Дутова Е.М.** Особенности миграции и концентрирования химических элементов в подземных водах Алтае-Саянской складчатой области // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России.- Иркутск: Изд-во ИрГТУ.-2003.-С. 147-149
48. **Дутова Е.М.** Высотная гидрогеохимическая зональность Алтае-Саянской складчатой области. Материалы научной конференции по проблемам поисковой и экологической геохимии Сибири. // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири.- Томск: Изд-во ТПУ, 2003. С. 65-69.
49. Петрова О.Е. Изотопный состав углерода и кислорода травертиновых родников Колывань-Гомской складчатой зоны / О.Е. Петрова, **Е.М. Дутова**, Ю.Г.

- Копылова, Н.Л. Падалко // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири.- Томск: Изд-во ТПУ, 2003. -С. 101-104.
50. Шварцев С.Л. Развитие научных идей П.А. Удодова / С.Л.Шварцев, **Е.М. Дутова**, Н.М.Шварцева и др. // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. С. 21-24.
51. **Дутова Е.М.** Физико-химическое моделирование процессов взаимодействия подземных вод с горными породами в условиях зоны гипергенеза. //Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии: Труды Международной конференции, посвященной 75-летию юбилею гидрогеохимии.- Томск: Изд-во НТЛ, 2004.- С. 248-254.
52. Дутова Е.М., Покровский Д.С. Геохимия подземных вод Академического месторождения / **Е.М. Дутова**, Д.С. Покровский // Известия ТПУ.- 2004.- Т. 307.- № 7. – С. 35-39.
53. Кузеванов К.И. Использование геоинформационных технологий при исследовании процессов техногенного подтопления урбанизированных территорий (на примере г. Томска) / К.И. Кузеванов, **Е.М.Дутова**, Д.С. Покровский // Известия ТПУ.- 2004.- Т 307.- № 7. – С. 30-35.
54. Кузеванов К.И. Химический и микробиологический состав ручьев городской территории г. Томска / К.И. Кузеванов, **Е.М. Дутова**, Н.Г. Наливайко, Д.С. Покровский // Известия ТПУ, 2005, т. 308, № 2. – С. 48-54.

Изд. лиц. № 021253 от 31.10.97. Подписано в печать  
Формат 60x80/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс. Печать офсет.  
Уч.-изд. л.                      Тираж                      экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.