На правах рукописи

РОМАНОВА Татьяна Ивановна

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО САЛАИРА В СВЯЗИ С ПОИСКАМИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Специальность 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск - 2002

Работа выполнена в Томском политехническом университете

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

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
В.П.Ковалев
кандидат геолого-минералогических наук
Ю.В.Макушин

Ведущая организация: Новосибирская геолого-поисковая экспедиция

Защита диссертации состоится 4 декабря 2002г. в 14 часов 30 минут
на заседании диссертационного совета Д 212.269.03
при Томском политехническом университете
Адрес: 643050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ТПУ, 1 корпус, 210 аудитория.

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

Автореферат разослан «__31___» октября 2002г.

Ученый секретарь
диссертационного совета д.г.-м.н. **В.Н. Сальников**

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность разработки новых методов поисков месторождений полезных ископаемых определяется, прежде всего, необходимостью расширения сырьевой базы рудных полезных ископаемых. Увеличение их добычи приводит к истощению фонда «легко открываемых» месторождений. Для обнаружения «трудно открываемых» глубокозалегающих месторождений, являющихся в настоящее время основным источником прироста запасов, широко применяют геохимические методы поисков.

Один из таких методов – гидрогеохимический - вот уже более 40 лет разрабатывается проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лабораторией (ПНИЛ) Томского политехнического университета (ТПУ). Его совершенствование, ускорение и активизация внедрения в производство базируются на углубленном изучении геохимии подземных вод зоны гипергенеза, их взаимодействия с горными породами, миграционных способностей химических элементов, характера водообмена природных вод, на выявлении особенностей и механизмов формирования гипергенных продуктов, на принципиальной возможности локального металлогенического прогноза территории по гидрогеохимическим данным.

Целью исследований является изучение особенностей геохимии подземных вод северо-западного Салаира и равновесия их с горными породами, выявление ассоциаций химических элементов в водах и создание рациональной методики гидрогеохимических поисков на основе картирования гидрогеохимических полей, как критериев потенциальной рудоносности недр.

Задачи исследований. 1. Изучить химический состав природных вод и особенности их формирования с учетом интенсивности водообмена в районе, перспективном на обнаружение золотосульфидной минерализации.

2. Исследовать характер распределения химических элементов, формы их миграции и источники поступления в воды.

3. Изучить состав и особенности формирования водных потоков рассеяния как составной части гидрогеохимических полей прогнозируемых рудных месторождений.

4. Исследовать характер взаимосвязи химических элементов разных геохимических типов вод и взаимосвязь их ассоциаций с минералого-геохимической зональностью прогнозируемого оруденения.

5. Выявить закономерности и структуру формирования гидрогеохимических полей прогнозируемых рудных месторождений как критерия потенциальной рудоносности региона и оценить перспективность территории на золотое оруденение.

Исходный материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положены результаты гидрогеохимических исследований проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории ТПУ, проведенных с 1980 по 1991гг. на площади свыше 1500 км^2 Салаирского кряжа (при участии автора в 1989-1991гг.). На территории исследований было опробовано 2170 водопунктов, отобрано 2100 водных концентратов (по методике ТПИ с гидроокисью алюминия) и 2100 водных концентратов на активированном угле. Анализ химического состава вод выполнен Э.П.Бабуровой, Э.С.Рычковой, В.М.Марулевой, Н.А.Трифоновой, А.Н.Ефимовой, Р.Ф.Зарубиной, Н.И.Шердаковой с использованием разных физико-химических методов: колориметрических при определении NO_3, NO_2, Fe; титриметрических – HCO_3, Ca, Mg; потенциометрических – F, Cl, pH; атомно-абсорбционных – Na, K, Li, Hg (методом «холодного пара»); спектрофотометрических – Si, Al; атомно-эмиссионного спектрального анализа водных концентратов - Ag, Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Ti, Sn, Mo, Be; инструментального нейтронно-активационного для определения Au, Sb и редкоземельных элементов. Использованы также данные по составу горных пород и руд (3 скважины) и результаты литохимической съемки по потокам рассеяния, выполненные Новосибирской

геолого-поисковой экспедицией (НГПЭ) и любезно предоставленные нам для исследования В.В. Нечаевым и А.И. Неволько в процессе проведения совместных работ. При интерпретации гидрогеохимической информации применены программы BMDP (СОМИ), QPRO, Serfer, CorelDRAW, MapInfo, Exel, Statistika и др.

В работе использованы фондовые материалы НГПЭ, ПГО «Новосибирскгеология», ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ, неопубликованные данные ранее проведенных исследований, предоставленные Ю.Г. Копыловой, В.В. Нечаевым и А.И. Неволько, а также опубликованные данные по гидрогеохимическим поискам на территории Салаира.

Научная новизна. Комплексное исследование состава подземных вод, включая изучение широкого спектра микрокомпонентов (в том числе редкоземельных и радиоактивных элементов), позволило определить общие закономерности их миграции, а также их роль в формировании гидрогеохимических полей прогнозируемого оруденения.

Впервые количественными методами изучен водообмен, выявлена его вертикальная зональность и роль в распределении химических элементов в водах.

Исследованы закономерности поведения (концентрирования и рассеяния) химических элементов в водных растворах с позиций механизма взаимодействия в системе вода-порода, установлен ее равновесно-неравновесный характер.

Разработана методика картирования гидрогеохимических полей, основанная на оригинальном подходе к обработке данных с использованием методов нормирования (стандартизация) данных и детального изучения взаимосвязи элементов (гидрогеохимические ассоциации) на разных уровнях концентрации вещества (фоновое, рассеянное, концентрированное).

Определены парагенетические ассоциации химических элементов в водах на основе анализа их взаимосвязи методами факторного анализа. Выявлено, что концентрации и ассоциации растворенных в воде элементов определяются механизмом взаимодействия воды с рудами, измененными и вмещающими горными породами.

Впервые выявлены и изучены перспективные на обнаружение сульфидной минерализации гидрогеохимические поля, которые характеризуются определенной структурой и отражают металлогеническую зональность прогнозируемых рудных узлов, полей и рудных месторождений.

Основные защищаемые положения.

1. В условиях горно-таежных ландшафтов формирование химического состава вод обусловливается прежде всего интенсивностью водообмена: с уменьшением абсолютных отметок территории происходит уменьшение модуля подземного стока, увеличение времени взаимодействия в системе вода-порода, что приводит к росту общей минерализации и изменению состава и характера среды.

2. Состояние физико-химического равновесия подземных вод с карбонатными и алюмосиликатными минералами определяет характер рассеивания и мобилизации химических элементов в водах, условия их миграции, что сказывается на уровне их концентраций, включая аномальные значения, являющихся гидрогеохимическим признаком наличия зон оруденения.

3. Изучение особенностей взаимодействия системы вода – порода – руда при широком использовании возможностей методов математической статистики позволяет перейти на качественно новый уровень в интерпретации гидрогеохимической информации и обоснованию гидрогеохимических полей прогнозируемого оруденения как критериев потенциальной рудоносности недр.

Практическая значимость. Разработанные гидрогеохимические критерии потенциальной рудоносности недр использованы в Новосибирской геолого-поисковой экспедиции, что позволило выявить перспективные участки на рудное золото и другие виды полезных ископаемых. Методика картирования гидрогеохимических полей внедрена при проведении геологического доизучения площадей Томского рудного района.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на НТС ПГО Новосибирскгеология (1991г.), на Всероссийской конференции «Многоцелевые гидрогеохимические исследования в связи с поисками полезных ископаемых и охраной подземных вод» (Томск, 1993), на Международном симпозиуме по проблемам прикладной геохимии (Иркутск, 1994), Международном симпозиуме по прикладной геохимии стран СНГ (Москва, 1997), на Всероссийском совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока (Тюмень, 1997), на региональных конференциях по проблемам геологии Сибири (Томск, 1996, 1998, 2000, 2001), на V конгрессе «Студент и технический прогресс» (Новосибирск, 1994), на Международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск,1997, 2001, 2002).

Работа выполнена в ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ учебно-научно-производственного центра (УНПЦ) «Вода» института геологии и нефтегазового дела (ИГНД) и является составной частью госбюджетных исследований по проблемам геологической эволюция системы вода-порода как основы решения геологических, экологических и поисковых задач (1991-2000гг.). При выполнении работы автор принимала участие в проектах по программам Минобразования РФ (2000, 2001гг.), а также грантов по фундаментальным проблемам в области геологии (1991-1997гг.). Работа проводилась в тесном контакте с ПГО «Новосибирскгеология» по теме «Опережающие гидрогеохимические поиски золотооруденения на северо-западном Салаире» (1987-1991гг.). По теме диссертации опубликовано 23 научных работы.

Автор признателен и глубоко благодарен своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Степану Львовичу Шварцеву за внимание и высокую требовательность к работе. Сердечную благодарность автор выражает своему второму научному руководителю кандидату геолого-минералогических наук, директору УНПЦ «Вода» Юлии Григорьевне Копыловой, направлявшей ход исследований и оказывавшей постоянное внимание и действенную помощь на всех этапах работы.

Большой объем математической обработки результатов исследований выполнен М.З. Потылициной при участии автора. При написании диссертации автор пользовался советами и консультациями профессоров М.Б. Букаты, Н.М. Рассказова, доцентов А.А.Лукина, В.К.Бернатониса и Е.М.Дутовой. Работа выполнялась при поддержке коллег по совместным полевым исследованиям И.В.Сметаниной, А.А.Хващевской, В.М.Марулевой, Н.Г.Наливайко, Н.А.Трифоновой, Р.З.Зарубиной, Н.И.Шердаковой, Р.З.Акбашева, А.Н.Ефимовой и других сотрудников проблемной гидрогеохимической лаборатории, кафедры гидрогеологии и инженерной геологии и кафедры водных ресурсов и гидрогеоэкологии. Автор искренне благодарен названным и всем другим сотрудникам, оказавшим самую разнообразную помощь в выполнении данной работы.

Объемы работы Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 140 страницах, содержит 48 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 85 наименований.

1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СВЯЗИ С ПОИСКАМИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В главе рассматриваются вопросы изученности гидрогеохимии складчатых областей, к которым относится и Салаир. Основные закономерности распределения и формирования различных химических типов вод в горно-складчатых областях, их гидрогеохимическая зональность и поясность были выявлены И.К.Зайцевым, Н.И.Толстихиным, Н.А.Мариновым и др. Впервые количественная характеристика распространенности химических компонентов в основных ландшафтно-климатических зонах была дана С.Л.Шварцевым. Перераспределение вещества подземными водами и связанная с ним химическая денудация были изучены Ф.П.Саваренским, Ф.А.Макаренко, О.А.Алекиным и другими. В.А.Кирюхиным, Н.Б.Никитиной, С.М.Судариковым были

рассмотрены вопросы гидродинамики и гидрогеохимии складчатых областей, включая гидрогеохимическую типизацию последних.

На северо-западном Салаире гидрогеохимические исследования проводились, начиная с 50-х годов прошлого столетия, П.А.Удодовым, А.В.Валюнас, Е.А.Пономарёвым, З.В. Лосевой, Ю.Г. Копыловой, Е.М. Дутовой, Н.М. Рассказовым и др. Проведению работ способствовали заинтересованность и поддержка со стороны руководителей ПГО Новосибирскгеология и её производственных организаций в лице В.Г. Свиридова, И.П.Васильева, В.Д. Мисюка, Б.В. Голошейкина, Э.И.Большакова, В.В.Нечаева, А.И. Казённова и многих других. В процессе их выполнения совершенствовалась методика проведения полевых и камеральных исследований и обосновывались участки постановки геолого-поисковых работ следующего этапа. Была разработана методика картирования гидрогеохимических аномалий, базирующаяся на генетической взаимосвязи элементов в водах и учитывающая гидродинамические особенности территории. Установлены закономерности поведения химических элементов, отражающих металлогеническую специализацию аномалий, что позволило прогнозировать оруденение трех формационных типов: золото-сульфидного, золото-кварцевого и золото-ртутного.

В главе дан анализ становления и развития поисковых гидрогеохимических критериев, обоснование которых нашло отражение в работах П.А. Удодова, А.А. Бродского, С.Р. Крайнова, Г.А. Голевой, С.Л. Шварцева, Н.М. Рассказова, В.Г. Спирина, Б.А. Колотова, В.Н. Макарова, Ю.Г. Копыловой и других. Исследования последних лет показали целесообразность выделения, вслед за А.Б. Кажданом (1984), в качестве гидрогеохимических критериев рудоносности недр признаков и предпосылок рудоносности, определяемых составом вмещающих отложений, гидротермально-измененных пород, спецификой магматических очагов, зон разрывных нарушений и составом рудной минерализации. Формирующееся при этом гидрогеохимическое поле рудного месторождения имеет структуру, обусловленную взаимоотношениями ассоциаций химических элементов в водах. На этих принципах выявления гидрогеохимических полей прогнозируемого оруденения в 1987-1991гг. на северо-западном Салаире с участием автора проведены опережающие гидрогеохимические исследования.

2. ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕГИОНА

В главе охарактеризованы основные черты геологического строения, тектоники и металлогении района. Исследуемая территория расположена на северо-западе Салаирского кряжа и приурочена к его сводовой части и южному склону. В геологическом отношении она представляет собой пенепленизированную всхолмленную возвышенность, сложенную в основании разреза породами палеозойского возраста и рыхлыми неоген-четвертичными отложениями мощностью до 50 м в верхней его части и осложненную тектоническими нарушениями. По литолого-петрографическому составу преобладающими являются алюмосиликаты, как правило, сланцевые в разной степени метаморфизованные породы. Широко распространены карбонатные породы, большое место занимают терригенные и эффузивные комплексы пород. Интрузивные образования на территории северо-западного Салаира приурочены к продольным зонам разломов глубинного заложения и характеризуются повышенной проницаемостью. В южной части территории исследований располагаются верхнепалеозойские гранитоиды Елбанского массива. Тела интрузий (габбро-диабазы, диабазы, диабазовые и андезито-базальтовые порфириты) пользуются широким распространением среди кембрийских отложений, как в виде единичных мелких тел, так и в виде дайковых поясов. Характерной особенностью металлогении района исследований является совместное нахождение в золоторудных полях месторождений и рудопроявлений различных формационных типов (золото-

сульфидно-кварцевого, золото-колчеданного, золото-полиметаллического, золото-кварц-пирит-черонсланцевого). Но преобладающим развитием пользуется золото-колчеданное оруденение (Сыроватко и др., 1975ф).

3. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

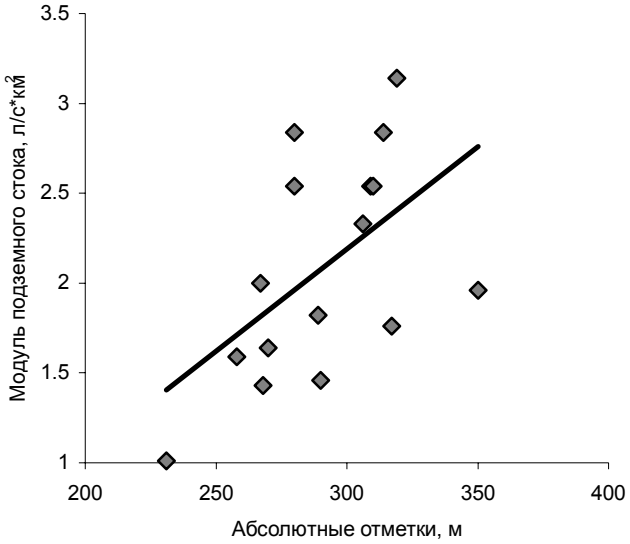

Рис.1. Зависимость модуля стока от абсолютных отметок рельефа.

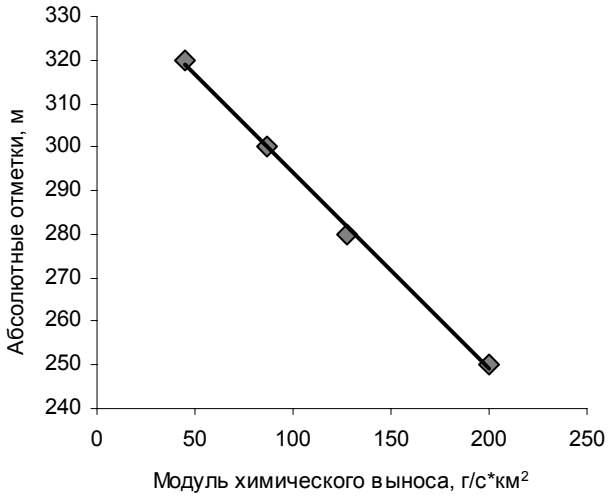

Рис.2. Зависимость модуля химического выноса от абсолютных отметок в бассейне р. Евсиха.

В главе рассмотрены гидрогеологические условия региона и роль водообмена в формировании химического состава подземных вод. Гидрогеологические условия района определяются его геологоструктурными особенностями и соотношением количества выпадающих атмосферных осадков и их испарения. Наличие в районе пористых и трещиноватых пород и обилие атмосферных осадков при сравнительно малом испарении благоприятствует развитию активного водообмена на повышенных участках рельефа. Двухъярусное строение последнего определило наличие в зоне аэрации и в зоне насыщения подземных вод разного химического состава.

Геохимические особенности состава вод суммарно проявляются через их соленость, как результат взаимодействия системы вода-порода, определяющей условия формирования вод (осадки – водообмен – геохимическая среда – соленость). В пределах исследуемого района в формировании химического состава вод хорошо проявляется роль рельефа и прослеживается вертикальная (на разных уровнях стока) зональность подземных вод. На верхних уровнях стока в зоне аэрации формируются ультрапресные (по А.В. Щербакову, с минерализацией менее 200 мг/л) воды. С увеличением глубины проникновения вод в зоне насыщения в грунтовых порово-пластовых водах минерализация составляет чаще всего 200-300 мг/л, а воды зоны региональной трещиноватости являются умеренно пресными (300-500 мг/л). Повышенная минерализация (550-900 мг/л) свойственна водам зон разрывных нарушений с более длительными путями миграции и наибольшей их глубиной проникновения. Анализ закономерностей распространения химических элементов показал, что в разных по составу отложениях палеозойского фундамента в зоне региональной трещиноватости формируются подземные воды, мало отличающиеся между собой по химическому составу, на фоне которых выделяются воды зон разрывных нарушений с наибольшей суммой солей. Это позволяет выделить определяющую роль водообмена в формировании химического состава вод горных областей.

Изучение интенсивности водообмена проводилось по результатам гидрогеохимического опробования и замеров расходов рек и дебитов родников В.Я. Бычковым и автором работы (Копылова и др., 1990, 1991ф). Речная сеть района представлена водотоками от 1 до 7 порядков. Главным базисом дренирования является река Бердь. Большинство истоков рек относится к долинам второго порядка. Данные замеров расхода реки большего порядка корректировались по сумме расходов всех рек меньших порядков. Модуль подземного стока определялся как отношение величины (объема) подземного питания реки данного порядка к площади ее водосбора в границах орографических водоразделов, отнесенный к центру бассейна. Выполненные расчеты показали, что модуль подземного стока изменяется от 3.16 л/с*км^2 в долинах 2-го порядка до 0.9 л/с*км^2 в долинах 4-5-го порядков.

По морфометрическим расчетам (Копылова и др.,1990) в долины 1-го порядка разгружаются воды, проникающие, в среднем на глубину до 30 м. В долины 2-го и 3-го порядков разгружаются воды, проникающие на глубины 55 и 70 метров, а в долины 4-5 порядков – 100 м и более. Соответственно уменьшается интенсивность водообмена: около 75 % всего объема ресурсов подземных вод формируется на 2-3 уровнях стока. Разгрузка подземных вод осуществляется как рассеянными выходами непосредственно в руслах водотоков, так и в виде родников, дебиты которых достигают 5-8 л/с, а в редких случаях до 20 л/с и более. Чаще всего аномалии подземного стока связаны с зонами тектонических нарушений: по правым притокам р. Кинтереп, рр. Матренка, Мочеги, Сориха и левым притокам р. Берди в районе р. Евсиха.

Вместе с тем, показано (рис.1), что с уменьшением абсолютных отметок выхода вод происходит снижение модуля стока (от области питания к области разгрузки) и, соответственно, увеличивается время взаимодействия системы вода-порода, что сопровождается повышением минерализации вод. Это является определяющим гидродинамическим фактором формирования солености (общей минерализации) вод и способствует интенсивному химическому выносу элементов. При увеличении времени взаимодействия системы вода-порода с увеличением глубины проникновения вод (уровней стока) происходит повышение объемов химического выноса. Так, установлено, что в долине р.Евсиха (рис. 2) с уменьшением абсолютных отметок и модуля стока химический вынос элементов значительно повышается: от 45 в областях питания до 200 г/с*км^2 в областях разгрузки.

4. ГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

В главе рассматривается характер распределения химических элементов в зависимости от ландшафтно-геоморфологических признаков по всей площади исследований. В региональном плане выделенные площади соответствуют местным областям питания, транзита и разгрузки подземных вод. Анализ распределения химических элементов по средним и максимальным концентрациям показывает увеличение содержаний макрокомпонентов от области питания к области разгрузки вод. Достаточно четко это проявляется для общей минерализации, HCO_3^-, Ca^{2+}, общей жесткости, Na^+, K^+, $Fe^{об}$, обратная картина наблюдается для сульфат-иона: максимальные его концентрации приурочены к водораздельной части северо-западного Салаира и наблюдается их уменьшение в зоне местных областей транзита и разгрузки вод из-за специфики распространения зон сульфидизации.

С увеличением времени взаимодействия воды с коренными породами при движении от области питания к области разгрузки повышается общая минерализация и щелочность подземных вод, что приводит к росту степени их насыщенности относительно карбонатов кальция. Как видно из рисунка 3 насыщение карбонатами происходит в водах зоны интенсивной трещиноватости и зон разрывных нарушений, а маломинерализованные воды верховодки, время взаимодействия которых с вмещающими отложениями

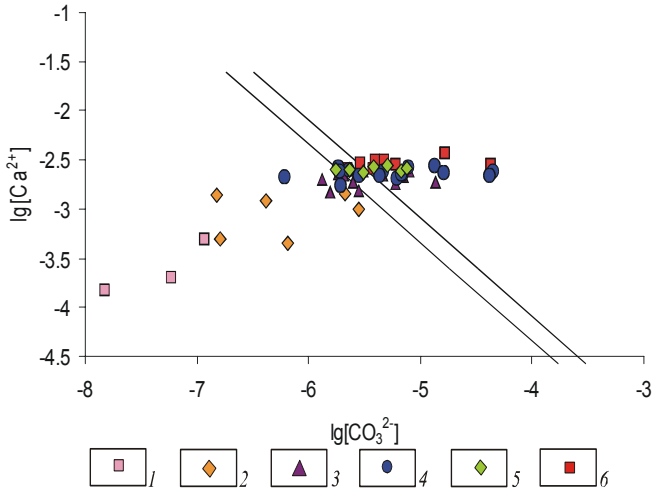

Рис. 3. Степень насыщения вод относительно $CaCO_3$

1 - воды зоны аэрации; воды зоны насыщения: 2 – пластово-поровые воды (воды делювиально-элювиальных отложений), 3 - воды зоны трещиноватости (преимущественно алюмосиликатного состава), 4 - воды зоны трещиноватости (смешанного алюмосиликатного и карбонатного состава), 5 – воды зоны трещиноватости (преимущественно карбонатного состава), 6 - воды зон разрывных нарушений.

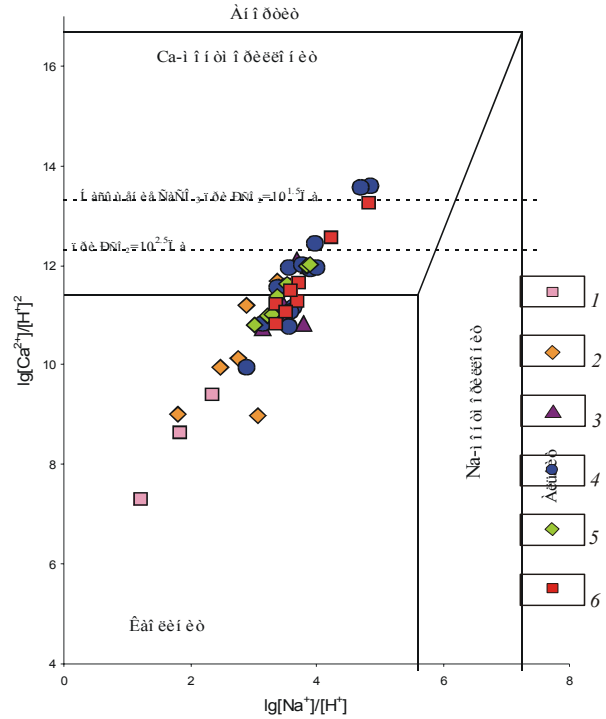

Рис. 4. Система HCl - H_2O - Al_2O_3 - CaO - Na_2O - CO_2 - SiO_2 при $lg[H_4SiO_4] = -3.5$

1 - воды зоны аэрации; воды зоны насыщения: 2 - пластово-поровые воды (воды делювиально-элювиальных отложений), 3 - воды зоны трещиноватости (преимущественно алюмосиликатного состава), 4 - воды зоны трещиноватости (смешанного алюмосиликатного и карбонатного состава), 5 - воды зоны трещиноватости (преимущественно карбонатного состава), 6 - воды зон разрывных нарушений.

минимально, неравновесны с кальцитом. Расчеты индекса неравновесности, выполненные с учетом ионной силы раствора и коэффициентов активностей каждого иона, показали, что равновесное состояние системы вода – карбонат кальция достигается в водах с общей минерализацией >500 мг/л, pH > 7.2 и при содержании Ca > 90 мг/л.

Степень насыщенности вод относительно минералов алюмосиликатных пород показана на рисунке 4. На первых этапах взаимодействия неглубокие воды (верховодка) находятся в равновесии с каолинитом. Воды более глубокого залегания, взаимодействующие с коренными породами, равновесны с Ca-монтмориллонитом и кальцитом. Вместе с тем эти же подземные воды резко недонасыщены относительно анортита и альбита. Неравновесность системы вода – первичные алюмосиликаты приводит к непрерывному геологически длительному процессу их растворения с образованием все новых и новых разнообразных вторичных минералов. При этом в воде концентрируются те химические элементы, которые не связываются минеральными фазами (хлор, натрий, иногда кальций, фтор и др.). Все это определяет целенаправленное изменение состава подземных вод.

Характер равновесия вод с карбонатными и алюмосиликатными минералами определяет процессы рассеивания и мобилизации химических элементов в водах, условия их миграции. Это прежде всего сказывается на уровне концентраций химических элементов в водах, что является основным гидрогеохимическим признаком наличия зон оруденения. В работе подробно рассмотрена миграция ртути, фтора и золота.

Повышенные концентрации фтора отмечаются на участках прогнозируемых зон рудной минерализации и в районе Елбанского гранитоидного массива при среднем содержании его 0.5 мг/л. Показано, что распределение фтора в природных водах определяется временем взаимодействия воды с горными породами: при его увеличении с ростом общей минерализации происходит увеличение содержаний фтора. В условиях

северо-западного Салаира происходит удаление кальция из раствора, что способствует постепенному накоплению фтора в растворе вплоть до появления геохимического барьера, которым выступает флюорит, но в пределах гумидных районов Салаира этот барьер не действует, поэтому рост общей минерализации сопровождается ростом содержаний фтора. Вместе с тем, обогащение вод фтором зависит от его способности к комплексообразованию при переходе из горных пород в воды. Выполненные исследования форм миграции фтора в водах по программе HydroGeo32 (Букаты, 1997) показали, что в околонейтральных водах распространены фторокомплексные соединения с основными катионами подземных вод. К примеру, в водах гумидного климата северо-западного Салаира, где pH меняется от 6.5 до 8.0, основными формами нахождения фтора в водах являются F^- (98%), а также отмечаются HF, MgF^+, CaF^+ и редко встречаются NaF и FeF^+ в незначительных количествах. Выполненные исследования позволили также выявить зависимость степени фтороносности маломинерализованных вод от фтороносности вмещающих пород. Так, в условиях горно-таежного ландшафта гумидного климата воды с максимальными содержаниями фтора формируются в наиболее фтороносных породах, что наблюдается вблизи гранитоидных массивов на Елбанской площади северо-западного Салаира.

Исследование поведения в водах ртути показало, что более высокие её концентрации (0.77-2.36мкг/л) характерны для участков развития рудной минерализации и зон разрывных нарушений, при среднем содержании – 0.08 мкг/л. В водах с минерализацией до 300 мг/л и более 600 мг/л размах содержаний ртути небольшой (0.04-0.5 мкг/л), т.е. при существенном обогащении их химическими элементами концентрация ртути практически не изменяется. По мнению Ю.Г. Копыловой, это объясняется особенностями миграции ртути, поскольку в слабокислых и нейтральных водах, формирующихся в условиях каолинитообразования, из-за малого времени взаимодействия вод с вмещающими отложениями происходит слабое накопление ртути в растворе, хотя ее подвижности в этих условиях и способствуют органические кислоты. Увеличение времени взаимодействия воды с горными породами ведет к накоплению ртути в растворе: наибольшие концентрации ртути (0.3-3.24 мкг/л) обнаружены в водах с минерализацией 400-600 мг/л. В водах зон разрывных нарушений (с минерализацией >600мг/л), с наибольшим временем их взаимодействия с породами и проявлением термодинамического барьера, сопровождающегося карбонатообразованием, происходит существенное соосаждение ртути. Аналогичная зависимость увеличения содержаний ртути отмечена при повышении концентраций кальция в водах, отражающего особенности литогенного этапа их формирования, и наблюдается резкое уменьшение концентраций ртути в водах после достижения равновесия с карбонатом кальция. В зависимости от кислотно-щелочных условий среды прослеживается увеличение содержаний ртути в слабокислых и особенно в слабощелочных водах. Благоприятные условия накопления ртути в этих случаях объясняются преобладанием форм миграции в слабокислых водах в виде нейтральных комплексов с хлором и ртутьорганических комплексов, а в нейтральных и слабощелочных водах в виде нейтральных гидроксокомплексов при отсутствии в водах иона аммония. Наличие NH_4^+ в природных водах приводит к образованию аммиачного комплекса $(Hg(NH_3)_2)^{2+}$, на долю которого приходится 99% от всех остальных форм нахождения ртути в растворе.

Наиболее часто встречающиеся содержания золота составляют 0.005-0.008 мкг/л при среднем значении 0.015 мкг/л. Под влиянием рудных тел его концентрации в водах повышаются до 0.25 мкг/л. Повышенные содержания (0.1-0.25 мкг/л) установлены в 1.5% проб. Поведение золота существенно зависит от солености и щелочности вод. В водах зоны аэрации и водах элювиально–делювиальных отложений с общей минерализацией до

300 мг/л наблюдается рост содержаний золота от 0.005 до 0.06 мкг/л (рис. 5а). Наибольшие его концентрации встречены в трещинных водах с минерализацией около 500 мг/л. Далее выявленная тенденция изменения золота с ростом минерализации нарушается и в водах зон разрывных нарушений (при минерализации свыше 600 мг/л) происходит снижение его содержаний до 0.02-0.005 мкг/л. Вместе с тем, при анализе распределения аномальных значений золота в водах с минерализацией более 400 мг/л отмечена тенденция увеличения его концентраций с ростом минерализации вод. При увеличении щелочности раствора концентрация золота понижается (рис.5), что хорошо прослеживается в водах зоны аэрации. Наибольшие содержания золота (0.25 мкг/л) свойственны нейтральным водам зоны региональной трещиноватости. В водах зон разрывных нарушений концентрации золота более низкие - от 0.005 до 0.045 мкг/л. Анализ распределения аномальных его концентраций в водах с минерализацией от 300 до 600 мг/л (воды современных аллювиальных отложений и трещинные воды зоны насыщения) показал тенденцию к снижению содержаний металла с ростом щелочности вод. На участках рудной минерализации отмечаются повышенные концентрации химических элементов в водах и выявляется тенденция роста концентраций золота с увеличением солености вод, т.е. несмотря на сорбционные процессы на участках оруденения в водах сохраняются более высокие его концентрации

Разнообразие типов природных вод предопределяет не только резкие колебания концентраций золота (от 0.0018 до 0.25 мкг/л), но и зависимость форм его миграции от состава вод и окислительно-восстановительных условий среды. По данным А.М.Плюснина и В.И.Гунина (2001), золото может мигрировать в трех относительно устойчивых состояниях: 1) в виде истинных растворов, в основном, комплексных соединений с различными лигандами; 2) в виде коллоидных растворов металлического золота и в составе коллоидов веществ с активной поверхностью; 3) в составе взвеси веществ с активной поверхностью. Установленным фактом является то, что в экзогенных условиях золото весьма подвижно как в кислой, так и в щелочной средах и может не только рассеиваться, но и концентрироваться в условиях нейтральной среды. В поверхностных пресных водах главенствующая роль отводится неорганическим комплексам одновалентного золота ($AuOHCl^-$) и элементному золоту в коллоидной форме (Ломоносов и др., 2002). По результатам проведенного численного физико-химического моделирования на основе программы HydroGeo, основанного на реальных концентрациях золота в природных водах Салаира установлено, что золото на 99% находится в форме $AuOHCl^-$ для Au^+ и в виде $(Au(Cl)_4)^-$ для Au^{+++}. Преобладание среди неорганических соединений золота отрицательно заряженных хлоридных комплексов и сложных хлоридных гидроксокомплексов определяет высокую миграционную его способность и протяженность водных потоков рассеяния.

Таким образом, *накопление рудогенных химических элементов происходит до возникновения основного геохимического барьера (до достижения равновесия относительно вторичных рудных минералов), после чего процесс накопления несколько замедляется, но не прекращается благодаря продолжающемуся в условиях интенсивного водообмена взаимодействию вод с горными породами, прежде всего, с алюмосиликатами.*

5. ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ КАК КРИТЕРИИ КАРТИРОВАНИЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В главе рассматриваются приемы картирования гидрогеохимических аномалий на основе выявления и анализа гидрогеохимических полей.

Выделение однородных геохимических совокупностей вод основано на анализе ландшафтно-геохимических, геологических, водообменных условий формирования

химического состава с учетом длительности взаимодействия системы вода – порода и характера вторичных минеральных новообразований (Шварцев и др., 1983).

Параметры распределения химических элементов в водах исследуемого района и отдельных однородных совокупностях вод (геохимических типах вод) (табл.1) определены на основе методов математической статистики с использованием пакета программ BMDP-COMИ для ЭВМ и программы STATISTICA для ПЭВМ.

Таблица 1

Средние содержания химических компонентов в подземных водах разных по составу отложений на северо-западном Салаире

Химический элемент	Район в целом	Карбонатные ($Є_1$kt)	Карбонатно-алюмосиликатные ($Є_1$sn)	Алюмосиликатные ($Є_{2-3}$)	Терригенно-карбонатные (O_1-S_1)	Карбонатно-терригенные (D_3-C_1)
pH	7.53	7.69	7.70	7.96	7.47	7.53
M., мг/л	468	520	462	463	436	468
HCO_3^-,мг/л	347	380	344	347	331	347
SO_4^{2-},мг/л	0.74	0.85	0.83	0.95	0.71	1.12
P,мкг/л	18.8	16.3	12.5	18.2	21.8	23.1
Cl^-, мг/л	5.25	5.75	6.17	6.92	4.46	6.92
F, мг/л	0.39	0.39	0.46	0.59	0.35	0.46
V, мкг/л	0.97	0.30	0.99	1.43	0.98	0.69
Cr, мкг/л	0.65	0.65	0.42	0.85	0.75	0.62
Li, мкг/л	3.1	0.8	0.5	0.9	2.5	2.6
Na^+, мг/л	10.00	8.32	8.23	8.15	9.12	11.20
K^+, мг/л	1.0	1.6	1.2	1.2	0.8	1.3
Ca^{2+}, мг/л	87.1	103.5	92.6	89.1	83.2	89.1
Mg^{2+}, мг/л	11.5	9.7	11.9	8.5	10.7	11.5
Ba, мкг/л	40.9	58.5	34.5	42.9	40.5	46.2
Ti, мкг/л	26.0	38.6	28.5	31.8	28.5	22.4
Mn, мкг/л	17.6	16.9	11.5	15.6	20.3	25.9
$Fe^{об}$, мг/л	0.49		0.34	0.043	0.56	0.61
Co, мкг/л	0.08	0.08	0.07	0.01	0.08	0.07
Ni, мкг/л	1.30	0.94	2.89	1.69	1.27	1.19
Sc,мкг/л	0.19	0.24	0.37	0.30	0.24	0.17
Y, мкг/л	0.55	0.42	0.44	0.62	0.62	0.55
Hf, мкг/л	0.30	0.30	0.30	0.29	0.32	0.24
Ta, мкг/л	0.022	0.078	0.048	0.036	0.018	0.013
Th, мкг/	0.19	0.20	0.29	0.20	0.16	0.11
Cu,мкг/л	1.30	1.27	1.99	3.30	1.29	1.86
Zn,мкг/л	0.6	0.9	0.7	3.4	6.3	12.9
Cd,мкг/л				0.49	0.33	0.36
Pb,мкг/л	0.33	0.46	0.30	2.34	1.00	1.40
Ag,мкг/л	0.021	0.019	0.025	0.024	0.021	0.054
Au, мкг/л	0.0074	0.0080	0.0083	0.0090	0.0080	0.0060
Hg,мкг/л	0.074	0.058	0.063	0.074	0.123	0.098
Sb, мкг/л	0.20	0.31	0.23	0.21	0.22	0.18
Число точек	1106	106	89	103	58	25

Анализ распространенности химических элементов в водах исследуемого района и отдельных однородных совокупностях (геохимических типах) вод (табл.1)показывает, что в отложениях преимущественно карбонатного состава формируются воды, обогащенные гидрокарбонат-ионом, кальцием, калием и, следовательно, с большей минерализацией, чем в отложениях алюмосиликатного и смешанного состава. Помимо HCO_3^-, Ca^{2+}, K^+ воды карбонатных отложений характеризуются повышенными значениями содержаний

таких химических элементов, которые характерны для этого типа пород – Ba, Ti, Co, Ta. Однако, наряду с этим, данный тип вод отличается от других низкими содержаниями никеля, серебра и ртути. При взаимодействии с породами алюмосиликатного состава воды обогащаются хлором, хромом, фтором и ванадием (табл.1). Для вод зоны трещиноватости в породах преимущественно алюмосиликатного состава характерны высокие концентрации тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu).Воды в отложениях смешанного (алюмосиликатного и карбонатного) состава занимают промежуточное положение по содержанию в них химических элементов, хотя Na и Mg иногда встречаются концентрациях значительно более высоких, чем в водах карбонатных и алюмосиликатных пород (табл. 1). Средние значения химических элементов в водах северо-западного Салаира в целом соответствуют их распространенности в водах зоны гипергенеза южно-таежных районов (Шварцев, 1998). Повышенные содержания Ba, Ti, Sc, Li, P, Au, Hg встречаются в водах рудопроявления «Жила 13» и на участках, перспективных на обнаружение золотого оруденения (Верхнебердская площадь), и отражают состав руд.

Принимая во внимание полузакрытый характер геологической структуры, слабое развитие зоны окисления, можно ожидать низкую контрастность формирующихся водных потоков рассеяния прогнозируемых зон минерализации. В этой связи для выявления химических элементов, связанных с зонами минерализации, целесообразно использовать показатель контрастности (Справочник….,1990). На его основе для повышения объективности и информативности поисковой гидрогеохимической информации более корректным представляется применение нормирования вышесредних значений химических элементов по их среднему квадратическому отклонению (стандартному множителю) в каждой однородной геохимической разновидности вод (Копылова и др., 1990, 1994). Использованные методы нормирования данных по параметрам распределения (стандартизированные коэффициенты контрастности- $(x_i - x_{ср})/S$) в однородных совокупностях вод позволяют выделить участки зон минерализации с большей долей вероятности, поскольку в более полной мере учитывают особенности распределения химических элементов: средних значений и средних квадратических отклонений. При выделении градаций аномальности минимально-аномальным считаются значения стандартизированных коэффициентов контрастности более 1, умеренно-аномальными – более 2, резко-аномальными – более 3, которые соответственно рассматриваются как отражающие концентрации химических элементов локального фона района оруденения (или аномальных значений на уровне регионального фона рудных полей или узлов), рассеянной и концентрированной минерализации прогнозируемого оруденения. Предлагаемые нами градации выделения аномальных концентрациий химических элементов в гидрогеохимических полях прогнозируемого оруденения согласуются с представлениями о трехуровневом строении геохимических полей, в частности с работами В.М. Питулько и И.Н. Крицук (1990), где также отмечается, что картографирование геохимического поля позволяет составить представление об его структуре, которая отражает все уровни концентрирования.

Обоснование различий в уровнях концентрации химических элементов, их взаимосвязи и взаимозависимостей в фоновой и аномальных совокупностях дает возможность определить гидрогеохимические признаки прогнозируемого оруденения (рудных узлов, полей и месторождений). Одним из приемов выявления комплекса поисковых признаков является последовательное разделение данных по параметрам распределения химических элементов, когда по гистограммам распределения из общей совокупности выделяются выборки, соответствующие уровням регионального фона, зонам рассеянной минерализации (локального фона), и аномальным выборкам, соответствующим зонам концентрированного оруденения (участкам рудных полей или отдельных месторождений) (Грицюк, 1982).

Использование этого приема и сравнение рядов распределения элементов показали, что аномальная совокупность вод в пределах северо-западного Салаира отличается более

высокими значениями Fe, Pb, Cu, Co, V, Cr, Ni, Ti, Mn, Ba, Ag, Y, Sc, Th, Hf, Ta, Sb, Au, Hg. Проведение дискриминантного анализа позволило уточнить этот набор элементов и определить следующий их ряд в порядке убывания значимости для выделения фоновых и аномальных вод: Au, Sb, Cu, Pb, V, Sc, Co, Ca, Cr, Th, Zn. Этот набор элементов был положен в основу составления карт водных потоков рассеяния по геохимическим группам элементов, детально рассмотренных в работе.

Применение факторного анализа позволил в водах выделить следующие ассоциации химических элементов и проследить особенности их формирования: 1)петрогенные элементы (параметры), обусловленные спецификой формирования химического состава воды - pH, Мин., Ca, HCO_3; 2)халькофильные элементы, определяемые проявлениями сульфидной минерализации - Pb, Cu, Zn; 3)элементы-примеси породообразующих минералов гидротермально-измененных пород- Ti, Cr, V, Ni, Co; 4) редкоземельные элементы - Hf, Th, Ta, Sc; 5) рудогенные элементы - Au, Ag.

Взаимоотношение этих ассоциаций и самих химических элементов внутри них меняется по мере приближении к рудной зоне. Выявленные ассоциации химических элементов в водах отражают процессы взаимодействия воды с вмещающими породами, гидротермально измененными породами и собственно рудными телами. Нанесение повышенных значений основных факторов, представленных ассоциациями петрогенных элементов, элементов-примесей породообразующих минералов, редкоземельных и рудогенных элементов, на план и оконтуривание участков с интенсивным переходом в раствор тех или иных комплексов элементов дает возможность выявить их взаимоотношения и обосновать формирование гидрогеохимических полей зон прогнозируемой минерализации.

Анализ изменения состава химических элементов в околорудных метасоматических ореолах (Кучеренко, 1992) и в водах прогнозируемых рудных объектов позволяет проследить соответствие элементного состава по метасоматическим зонам с выявленными в процессе факторного анализа ассоциациями химических элементов в водах (Копылова, 2000). Ассоциации химических элементов характеризуются определенными пространственными соотношениями, изменяясь от петрогенных элементов и элементов-примесей породообразующих минералов во внешней зоне до халькофильных и собственно рудогенных по мере приближения к руде, что указывает на существование структуры гидрогеохимических полей прогнозируемого оруденения. Зональное строение гидрогеохимического поля является отражением металлогенической специфики прогнозируемых месторождений.

В работе подробно рассмотрены ассоциации химических элементов не только в подземных водах, но и в литохимических потоках рассеяния и в первичных ореолах рассеяния рудопроявления «Жила 13». Ассоциации элементов в донных осадках представлены тесно связанными между собой совокупностями преимущественно редкоземельных элементов и элементов-примесей породообразующих минералов, к которым тяготеют ассоциации связанные, видимо, с золотым оруденением (Дутова, Романова, 1998). Изучение ассоциаций химических элементов в первичных ореолах рассеяния проводилось по результатам опробования трех скважин глубиной 240-500м, пройденных через рудные зоны проявления «Жила 13», расположенного на водоразделе рек Большая Каменка и Екатеринка в 5 км к северу от с.Егорьевское. Выявленные на основе факторного анализа ассоциации химических элементов характеризуются определенной приуроченностью к типам пород. Для метасоматитов наиболее контрастные ассоциации представлены As, Au, W; Ag, Co, Cu, V. В песчаниках вблизи метасоматитов появляются дополнительные ассоциации - Au, W, Ag, Cu, Bi; Sc, Y, Ti, Zr; Sn, Pb, Sb, Zr, характерные для зон скарнирования.

Ассоциации химических элементов в водах, литохимических потоках и первичных ореолах характеризуются достаточно высокой сопоставимостью по группам элементов, что отражает объективность применяемых методов выделения геохимических полей.

6. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

На основе рассмотренных принципов в районе исследований выделены четыре площади с аномально-повышенными концентрациями химических элементов (прогнозируемых рудных полей): 1)Каменско-Тайлинская; 2) Суенгинско-Чесноковская;
3) Полдневская-Верхнематренкинская; 4) Левобердская (рис.6), специфика которых детально рассматривается в данной главе диссертации.

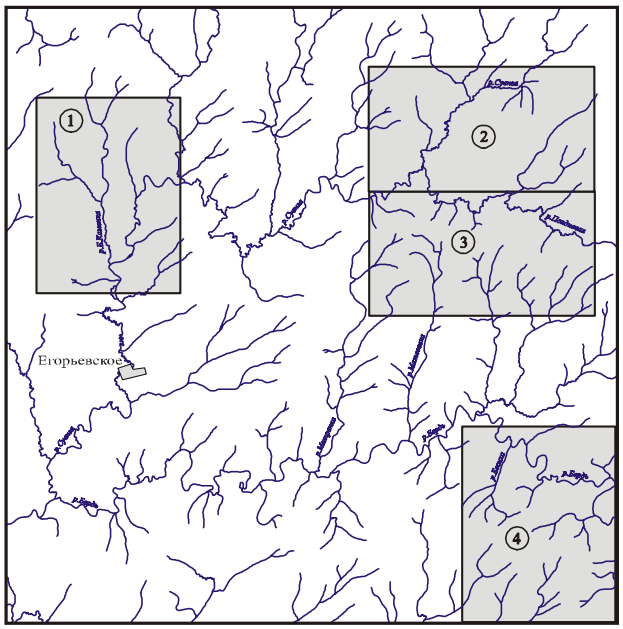

Рис.6. Схема расположения прогнозируемых рудных полей.
1-Каменско-Тайлинское; 2-Суенгинско-Чесноковское; 3-Полдневское-Верхнематренкинское; 4 – Левобердское.

Каменско - Тайлинская гидрогеохимическая аномалия обнаружена в водах отложений суенгинской свиты нижнего кембрия и нерасчлененного среднего-верхнего кембрия с наличием множества малых интрузивных тел позднедевонского возраста. Вмещающие породы интенсивно окварцованы, березитизированы, разбиты нарушениями и пронизаны жилами и прожилками кварца. К прожилкам приурочено вкрапленное оруденение золота и сульфидов (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит и др.). Общая минерализация вод составляет 400-600 мг/л. На территории выделенной гидрогеохимической аномалии по левому борту р.Каменка находится рудопроявление «Жила 13», которое по типу оруденения относится к собственно золоторудным с прожилково - вкрапленной минерализацией золото-сульфидно-кварцевой формации. Аномалия представлена широким развитием водных потоков рассеяния Zn, Pb, Co, Cu, Hg, Ti, Cr, V, Au, Ag с контрастностями от 1 и выше, подробно охарактеризованных в работе.

На Каменско-Тайлинской гидрогеохимической аномалии наибольшей распространенностью в повышенных значениях пользуется ассоциация компонентов общего химического состава вод (минерализация вод, HCO_3^-, Ca^{2+}), к которой примыкают площади других ассоциаций. При этом ассоциации элементов-примесей породообразующих минералов (V, Ti, Cr, Be, Ni, Zr) совмещаются с ассоциациями халькофильных элементов (Ag, Pb, Cu, Mo, Ga) и с ареалами золота слабой контрастности. Выделенные ассоциации четко оконтуривают участки аномальных концентраций рудогенных элементов, формируя своеобразные геохимические поля. Достоверность выделения гидрогеохимического поля подтверждается литохимическими потоками рассеяния золота, серебра, свинца, мышьяка и висмута (Большаков и др., 1986ф) и наличием на данном участке известного рудопроявления «Жила 13», которое послужило прообразом модели гидрогеохимического поля.

Левобердская гидрогеохимическая аномалия обнаружена в водах отложений нижнего-среднего кембрия, нижнего ордовика, силура и нижнего девона (рис.7). Общая минерализация вод составляет 300-600 мг/л. Повышенной контрастностью (на уровне рассеянной и концентрированной минерализации) и протяженностью отмечаются в

пределах данной аномалии водные потоки рассеяния золота, серебра, ртути. Ассоциации химических элементов находятся в определенной пространственной закономерности: площадь распространения петрогенных элементов более обширна и на ее периферии находятся другие ассоциации, отражая структуру гидрогеохимического поля, которое включает и ареал рассеяния золота с контрастностью более 1.6 (рис. 7).

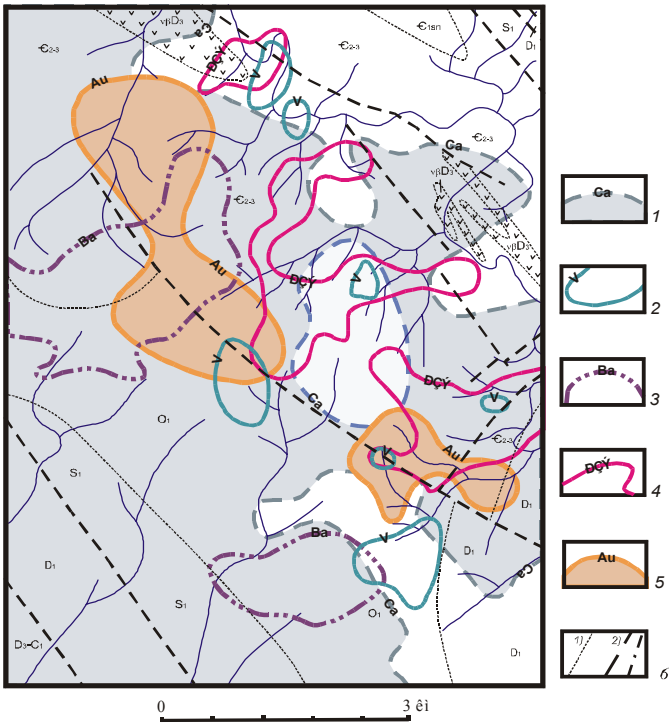

Рис. 7. Ассоциации химических элементов в водах Левобердской гидрогеохимической аномалии.
1 - ареал ассоциации HCO_3^-, Min, Ca^{2+}, Na^+ с контрастностью более 0; 2 - ареал ассоциации V, Co, Ti, Ni, Cr, Y, Pb с контрастностью более 1.0; 3 - ареал ассоциации Ba, Sr с контрастностью более 1.0; 4 - ареал ассоциации редкоземельных элементов Hf, Ta, Sc с контрастностью более 1.0; 5 - ареал рассеяния золота с контрастностью более 1.6; 6 - границы геологических образований: 1)стратиграфические, 2)тектонические. Вмещающие отложения: $Є_1kt$ - карбонатные, $Є_1sn$ - вулканогенно-терригенные, $Є_{2-3}$ - терригенные породы, S_1 - карбонатно-терригенные отложения, O_1-карбонатно-терригенные породы, D_1 - карбонатные, D_3-C_1 - карбонатно-терригенные, $νβD_3$ - габбро-диабазовый комплекс.

Структура гидрогеохимических полей хорошо прослеживается также в пределах **Суенгинско-Чесноковской и Полдневско-Верхнематренкинской**. прогнозируемых площадей. На основании установленных парагенетических ассоциаций элементов, особенностей поведения химических элементов, состава водных потоков рассеяния и их зональности, специфики выделенных гидрогеохимических полей прогнозируются разные типы оруденения: золотокварцевое малосульфидное (Суенгинско-Чесноковское), золотосульфидное глубокозалегающее, связанное с проявлением кислого магматизма (Левобердское) и, возможно, золотортутное (Полдневско-Верхнематренкинское). В работе показано, что на отдельных из них по мере увеличения глубины проникновения вод отмечается закономерная смена комплекса химических элементов моноэлементными контрастными потоками рассеяния золота, возможно, из-за разных уровней эрозионного среза рудных зон.

Таким образом, методы нормирования (стандартизации) данных и детальное изучение взаимосвязи элементов (парагенетические ассоциации) на разных уровнях концентрации вещества (фоновое, рассеянное, концентрированное) способствуют обоснованию гидрогеохимических полей прогнозируемого оруденения как критериев потенциальной рудоносности недр. Гидрогеохимические поля оруденения характеризуются определенной структурой и отражают металлогеническую зональность прогнозируемых рудных узлов, рудных месторождений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе рассмотрен характер распространения в природных водах широкого комплекса химических элементов, в том числе ранее неизученных в данном регионе - Ta, Th, Hf, Sc, Y, Yb. Это позволило установить закономерности изменчивости химического

состава подземных вод и выявить определяющую роль водообмена в формировании химического состава вод горно-таежного ландшафта Салаира.

На верхних уровнях стока в зоне аэрации формируются ультрапресные (по А.В. Щербакову) воды с минерализацией менее 200 мг/л. С увеличением глубины проникновения вод в зоне насыщения образуются грунтовые пластово-поровые воды с минерализацией чаще всего 200-300 мг/л, а воды зоны региональной трещиноватости в разных по составу отложениях являются умеренно пресными (300-600 мг/л). Повышенная минерализация (более 600 мг/л) свойственна водам зон разрывных нарушений, которые характеризуются более длительными путями миграции и наибольшей глубиной проникновения.

2. В основу разделения природных вод на однородные геохимические совокупности в работе положены исследования стадий взаимодействия воды с вмещающими отложениями и выявления источников обогащения вод химическими элементами. Воды северо-западного Салаира являются равновесными с глинистыми минералами – каолинитом и монтмориллонитом. При определенных условиях (pH > 7.2, общая минерализация > 500 мг/л и содержании Ca^{2+} > 90 мг/л) достигается равновесие с карбонатом кальция.

В исследуемом регионе насыщенность вод относительно карбонатных и алюмосиликатных образований оказывает влияние на содержание микрокомпонентов, в частности, золота в водах. Накопление рудогенных химических элементов происходит до возникновения основного геохимического барьера (до достижения равновесия относительно вторичных рудных минералов), после чего процесс накопления несколько замедляется, но не прекращается благодаря продолжающемуся в условиях интенсивного водообмена взаимодействию вод с горными породами, прежде всего, с алюмосиликатами. Существенную роль в миграции золота, а точнее в снижении его концентраций, играют сорбционные процессы, что особенно хорошо проявляется в водах с минерализацией свыше 600 мг/л. Сорбционный барьер отмечается при вторичном минералообразовании карбонатов, глин, гидроокисей железа, марганца и т.д.. Несмотря на сорбционные процессы, на участках оруденения сохраняются более высокие концентрации химических элементов в водах, в частности, золота. Даже на поздних стадиях взаимодействия в системе вода-порода-руда отмечаются повышенные концентрации золота и выявлена тенденция их роста с увеличением солености вод.

3. Проявление процессов растворения – накопления рудогенных элементов рассмотрено на примере ртути, фтора и золота. Их поведение в водах зоны гипергенеза резко различно: для фтора характерно длительное накопление в растворе, также как для натрия и калия, в то время как концентрации ртути в водах контролируются, прежде всего, проявлением сорбционного барьера с глинами, кальцитом, гидроокислами железа, марганца и др. На распределение золота в водах существенное влияние оказывают pH, Eh, и концентрации преобладающих лигандов

По результатам численного физико-математического моделирования установлено, что главенствующая роль в пресных водах северо-западного Салаира отводится неорганическим комплексам отрицательно заряженных соединений золота, преобладание которых способствует его миграции в природных водах и определяет высокую протяженность водных потоков рассеяния. На примере ртути отмечена важная роль аммиака в формировании положительно заряженных и нейтральных ртуть-аммиачных соединений в водах, наряду с нейтральными гидроксокомплексами и ртуть-хлорными соединениями. Основный формой миграции фтора выступает его простой ион.

Таким образом, протяженность водных потоков рассеяния химических элементов в значительной мере определяется формами их нахождения в водах, поскольку они препятствуют достижению равновесного и сорбционного барьеров благодаря уменьшению доли катионной составляющей и изменению знака заряда преобладающего соединения. Особенно благоприятно сказывается на формировании потоков рассеяния

способность элементов к комплексообразованию, присущая, по классификации С.Р. Крайнова (1964) большинству рудогенных элементов.

4. Изучение особенностей формирования водных потоков рассеивания химических элементов с применением метода нормирования данных по стандартизированным коэффициентам контрастности позволило повысить достоверность выделения слабых аномалий и выявить геохимическую зональность по мере приближения к рудной зоне. Предлагаемые в работе три уровня концентрирования (фоновой, рассеянной и концентрированной минерализации) отражают структуру геохимического поля прогнозируемого оруденения.

5. Исследование взаимосвязи химических элементов на основе факторного анализа позволило определить парагенетические ассоциации химических элементов в водах. В отдельные ассоциации выделены: 1)петрогенные элементы; 2) халькофильные элементы,; 3) элементы-примеси породообразующих минералов; 4) редкоземельные элементы; 5) рудогенные элементы (Au, Ag). Взаимоотношение этих ассоциаций и химических элементов внутри них меняется по мере приближения к рудной зоне. Выявленные ассоциации химических элементов в водах отражают процессы взаимодействия воды с вмещающими породами, гидротермально измененными породами и собственно рудными телами и формируют определенную структуру гидрогеохимических полей, что может использоваться при оценке перспективности территории на полезные ископаемые.

6. Выявленные ассоциации химических элементов в водах, литохимических потоках и первичных ореолах характеризуются достаточно высокой сопоставимостью по геохимическим группам элементов, что отражает объективность применяемых методов исследований геохимических полей оруденения.

Разработанная методика выделения и обоснования гидрогеохимических критериев рудоносности базируется на анализе гидрогеохимических полей оруденения, отражающих взаимодействие вод и отложений с разным уровнем концентрации вещества и их обусловленности минералого-геохимической зональностью прогнозируемых рудных районов, узлов, месторождений. Положение о структуре гидрогеохимических полей как отражении минералого-геохимической зональности оруденения способствует обоснованию гидрогеохимических критериев потенциальной рудоносности недр и совершенствованию методики картирования прогнозируемого оруденения в конкретных геологоструктурных и ландшафтно-геохимических условиях. Полученные результаты позволяют считать, что усовершенствованная методика интерпретации гидрогеохимической информации повысит эффективность гидрогеохимических поисков в горно-таежных ландшафтах глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых.

Список основных работ автора по теме диссертации

1. Обоснование геохимических разновидностей природных вод северо-западного Салаира (на основе исследований взаимодействия системы вода-порода) // Многоцелевые гидрогеохимические исследования в связи с поисками полезных ископаемых и охраной подземных вод. - Томск: Томский политехнический университет, 1993. - С.164-167 (соавторы Копылова Ю.Г., Неволько А.И., Полтанова Л.М. и др.).

2. Исследование геохимических особенностей золотооруденения на северо-западном Салаире в водах и горных породах // Многоцелевые... - С.169-171 (соавторы Сметанина И.В., Потылицина М.З.).

3. Гидрогеохимические поля рудных месторождений как критерии потенциальной рудоносности недр // Конкурс грантов по фундаментальным исследованиям в области геологии, методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Рефераты лучших научных разработок.- М., 1994.- С.15-16 (соавторы Копылова Ю.Г., Полтанова Л.М., Потылицина М.З., Сметанина И.В.).

4. Гидрогеохимические поля рудных месторождений как критерии оценки перспективности северо-западного Салаира на золотооруденение // IV Обьединенный симпозиум по проблемам прикладной геохимии: Тезисы.-.- Иркутск, 1994. - т.1.-С.182-183 (соавторы Копылова Ю.Г., Неволько А.И., Потылицина М.З. и др.).

5. Hydrogeohemical areals of deposits as evaluations criteria of a gold-mineralization prospect jf the northwest Salayre// 1V join6t international simposium eploratijn gtohemisnry,a tribute to akademican L. V. Tauson. - Ircutsk, 1994. - Vol.1.- P.147-148 (Kopylova J.G., Nevolko A.I., Poltanova L.M., Potylizyna M.Z., Smetanina I.V.).

6. Структура гидрогеохимических аномалий как отражение минералого-геохимической зональности рудных месторождений//Новые данные о геологическом строении и полезны[ископаемы[западной части Алтае-Саянской области. - Новокузнецк, 1995.- С.304-305 (соавторы Копылова Ю.Г., Потылицина М.З. и др.).

7. Тяжелые металлы в водах юго-востока Западной Сибири // Основные проблемы охраны геологической среды.- Томск: Томский государственный университет, 1995.- С.119-122 (соавторы Копылова Ю.Г., Зарубина Р.Ф., Ефимова А.Н., Полтанова Л.М.).

8. Картирование аномалий на основе выявления гидрогеохимических полей прогнозируемого оруденения // Проблемы геологии Сибири.- Томск: ТГУ, 1996.- Т.2.- С.141-142 (соавторы Копылова Ю.Г., Дутова Е.М., Сметанина И.В.).

9. Распространенность ртути в водах юга Западной Сибири // Проблемы геологии Сибири. - Томск: ТГУ, 1996.- Т.2.- С.249-250 (соавторы Копылова Ю.Г., Зарубина Р.Ф., Ефимова А.Н.).

10. Гидрогеохимические поля золотооруденения в горно-таежных районах юго-востока Западной Сибири//Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ: Тезисы докладов. - М.: Изд-во ИМГРЭ, 1997.- С.174-175 (соавторы Копылова Ю.Г., Дутова Е.М., Потылицына М.З., Сметанина И.В.).

11. Характеристика гидрогеохимических полей золотооруденения на северо-западном Салаире // Первый международный научный симпозиум "Молодежь и проблемы геологии".- Томск, 1997.- С.60-61.

12. Ассоциации химических элементов в потоках рассеяния золотооруденения на северо-западном Салаире//Подземные воды Востока России: Материалы XV Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока.- Тюмень: ТюмГНГУ, 1997.- С.41-42 (соавтор Дутова Е.М.).

13. Ассоциации химических элементов в потоках рассеяния золотооруденения на северо-западном Салаире // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Материалы научной конференции.- Томск: ТГУ,1998. – Т. 3.-С.60-63 (соавтор Дутова Е.М.).

14. Эколого-геохимическое состояние подземных вод горно-таежных ландшафтов Салаира // Обской вестник. - 1999.- № 2. – С.100-105 (соавторы Копылова Ю.Г., Дутова Е.М.).

15. Геохимический тип ртуть содержащих вод на северо-западном Салаире // Матер. регион. конф. «300 лет горно-геологической службе России». - Томск: «ГалаПресс», 2000. - Т.1- С.383-385 (соавторы Копылова Ю.Г., Зарубина Р.Ф., Сметанина И.В.).

16. Миграция ртути в водах природных и техногенных систем // Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды: Материалы международной научно-технической конференции. - Томск: Изд-во ТПУ, 2001. - С.28-32 (соавторы Зарубина Р.Ф., Копылова Ю.Г., Букаты М.Б., Сметанина И.В).

17. Условия формирования фторсодержащих вод основных ландшафтных зон юго-востока Западной Сибири // Обской вестник - 2001.- № 1. – С.6-12 (соавторы Копылова Ю.Г., Сметанина И.В., Хващевская А.А.).