

На правах рукописи

ДАНИЛОВА Мария Александровна

СТРУКТУРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РАЙОНА СЕВЕРО-МУЙСКОГО ТОННЕЛЯ БАМ

25.00.07 - гидрогеология

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Иркутск-2010

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Иркутского государственного технического университета

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук,
доцент **Юрий Николаевич Диденков**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Алексей Максимович Плюснин**

кандидат геолого-минералогических наук
Сергей Харитонович Павлов

Ведущая организация: **Иркутский государственный университет путей сообщения**

Защита состоится 20 апреля в 9.30 на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 в Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра СО РАН в здании Института земной коры СО РАН.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета к.г.-м.н. Л.П. Алексеевой. Тел: (3952) 42-27-77, факс: (3952) 42-69-00, e-mail: lalex@crust.irk.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Л.П. Алексеева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Процессы и закономерности формирования подземных вод в рифтовых структурах остаются до настоящего времени слабоизученными. А именно в них по глубоким тектоническим зонам осуществляется обмен веществом между поверхностью Земли и мантией; происходят наиболее существенные геологические процессы: современная вулканическая деятельность, высокая сейсмичность, повышенные значения тепловых потоков и гидротермальная активность. В результате создаются особые структурно-гидрогеологические условия, протекают специфические физико-химические процессы и формируются растворы, не существующие ни в каких других геотектонических обстановках. В последние годы роль флюидного режима в литосфере рассматривается в широком спектре геологических процессов – от геодинамических до гидросферных. Вопросы происхождения флюидов, возможности поступления флюида и воды в земную кору из мантии, количество и состав эндогенной фазы остаются остро дискуссионными.

Выбор северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны в качестве объекта исследований объясняется приуроченностью к данному региону Северо-Муйского тоннеля (СМТ), сложнейшего участка трассы Байкало-Амурской магистрали (БАМ), который является уникальным объектом для непосредственного изучения процессов формирования подземных вод. Его высокая обводненность термальными и холодными подземными водами, изучение геологических процессов на глубинах свыше 300 м дают богатый фактический материал и большие возможности для исследований. В то же время, именно обводненность является главной проблемой эксплуатации тоннеля, требующей решения.

Цель исследования. Установить процессы и закономерности формирования подземных вод района СМТ, определить особенности распределения водопритоков и выявить причины деструкции бетонной обделки тоннеля.

Основные задачи исследования: 1) Проанализировать историю геологического развития северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). 2) Выполнить разномасштабное структурно-гидрогеологическое районирование региона исследований. 3) Провести типизацию подземных вод района СМТ по их составу. 4) Выполнить термодинамическое моделирование процессов формирования подземных вод в различных гидрогеологических структурах. 5) Выявить причины разрушения бетонной обделки тоннеля на термодинамических моделях систем «гранит- вода» и «бетон - вода».

Исходные материалы и вклад автора в решение проблемы. Работа выполнена на базе современного структурно-гидрогеологического анализа с привлечением физико-химического моделирования (программный комплекс «Селектор», разработанный в институте геохимии СО РАН под руководством доктора г.-м.н. Карпова И.К.). В ходе работы автором проводились полевые наземные и подземные исследования в Северо-Муйском тоннеле и разведочно-дренажной штольне, сопровождавшиеся детальными гидрометрическими работами и отбором проб воды, пород и новообразований. Макро- и микрокомпонентный анализы природных вод, в том числе ICP-MS, выполнялись в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск). Статистическая обработка результатов химических анализов с целью типизации подземных вод района исследований проводилась с использованием программы «Кластер-анализ».

Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей формирования подземных вод района и особенностей современной обводненности СМТ; разработке типизации подземных вод по химическому составу, подкрепляющей выполненное детальное структурно-гидрогеологическое районирование; определении роли глубоких разломов в формировании подземных вод и уточнении генезиса термальных трещинно-жильных подземных вод района СМТ, а также выявлении причин неустойчивости бетонной обделки тоннеля на основе результатов имитационного термодинамического моделирования.

Защищаемые положения. 1. В районе Северо-Муйского тоннеля установлено два типа подземных вод, отражающих особенности их генезиса. Первый тип объединяет подземные воды атмосферного происхождения гидрогеологических массивов, бассейнов и приповерхностных разломов; второй - это трещинно-жильные воды глубоких разломов, принципи-

ально отличающиеся по температуре и химическому составу в связи с иными условиями образования. Основная современная обводненность тоннеля связана с разгрузкой трещинно-жильных вод приповерхностных и глубоких обводненных разломов.

2. Формирование состава подземных вод массивов, бассейнов и приповерхностных разломов обусловлено процессами взаимодействия в системе «атмогенные воды - породы гранитного состава» и сопровождается образованием минералов зоны гипергенеза. В формировании термальных вод принимает участие глубинная компонента, что проявляется в их температуре и высоких содержаниях сульфатов, He, F, Li. Состав гранита при существующих скоростях фильтрации не способен обеспечить переход в подземные воды фиксируемых количеств этих компонентов.

3. Основная причина неустойчивости бетонной обделки тоннеля заключается в более интенсивном разрушении гранитов, по сравнению с бетоном, в результате взаимодействия с подземными водами с образованием новых гидрогенно-минеральных комплексов. Для снижения обводненности тоннеля необходимо использование клинкерного материала, способного после взаимодействия с подземными водами образовывать минеральный парагенезис, экранирующий обделку тоннеля.

Практическая значимость. Дифференцированы водопритоки на основании гидрометрических замеров в тоннеле и разведочно-дренажной штольне, выявлена ведущая роль трещинно-жильных вод в обводнении СМТ, что позволяет целенаправленно осуществлять мероприятия по водоотливу, снижению гидростатических напоров и сохранению бетонной обделки. Проведена гидрогеохимическая типизация подземных вод, подтверждающая выделение трещинно-жильных вод глубоких разломов в отдельный класс, ярко отличный от подземных вод массивов и приповерхностных разломов. Определены причины разрушения бетонной обделки.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях «Гидроминеральные ресурсы Восточной Сибири» (Иркутск, 2001, 2005), на ежегодных научно-технических конференциях факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии ИрГТУ (Иркутск, 2003, 2005, 2006), на XXI Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2005), на Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.В. Богомолова (Минск, 2005), на III Межвузовской конференции молодых ученых и студентов «Молодые – наукам о Земле» (Москва, 2006), на семинаре стипендиатов программы DAAD «Михаил Ломоносов» (Бонн, Германия, 2006), на Всероссийской научной конференции памяти академика Л.В.Таусона (Иркутск, 2007), на III Международной научно-практической конференции, посвященной году планеты Земля и 85-летию Республики Бурятия (Улан-Удэ, 2008), на всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование» (Оренбург, 2008).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 14 работах, в том числе 4 статьи в научно-технических сборниках, из них 1 в рецензируемом издании из перечня ВАК, 10 статей в сборниках по материалам конференций, среди них 4 международных, 5 всероссийских и 1 региональная.

Структура диссертации. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и 5 приложений. Объем работы составляет 178 стр. текста, в том числе 50 рисунков и 21 таблица. Список литературы включает 187 наименований.

Благодарности. Автор искренне благодарен научному руководителю к.г.-м.н., доценту Диденкову Ю.Н. за постоянную помощь, интерес к работе и поддержку. Особая благодарность к.г.-м.н., с.н.с. ИГХ СО РАН Бычинскому В.А., под руководством которого осуществлено физико-химическое моделирование. Также автор выражает признательность докторам Ломоносову И.С. и Чудненко К.В., заслуженному геологу республики Бурятия Степину А.Г., которые внесли ценные дополнения. Спасибо родителям, мужу и дочери, уверенность и помощь которых помогли закончить начатое дело.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Особенности формирования подземных вод в кайнозойских рифтовых структурах

В пределах Байкальской рифтовой зоны выделяются 3 основных типа гидрогеологических структур с соответствующими им типами подземных вод. Это гидрогеологические бассейны с порово-пластовыми водами; гидрогеологические массивы с трещинно-грунтовыми и обводненные разломы с трещинно-жильными водами. Влияние рифтовой структуры на подземную гидросферу определяется динамичным режимом ее развития. Одна тектоническая обстановка сменяется другой, образование сводового поднятия переходит в растяжение, начинается процесс разломообразования, на определенной стадии которого возникают горсто-грабеновые структуры. В результате формирование подземных вод в рифтовых зонах находится в прямой зависимости от этапа развития рифта, а их специфика отражает геодинамические и структурно-геологические особенности.

Порово-пластовые воды рифтовых бассейнов характеризуются низкой минерализацией, гидрокарбонатным магниевым или кальциевым составом и атмосферным генезисом. Мощность зоны пресных вод значительна (во впадинах Байкальской рифтовой зоны может достигать 3000 м).

В пределах массивов подземные воды локализируются в зоне экзогенной трещиноватости, мощность которой, а также степень раскрытия трещин зависят от слагающих массив горных пород и климатических условий. Геологические субстраты, на которых были заложены рифтовые системы, различны, тем не менее, состав трещинно-грунтовых вод определяется составом атмосферных осадков. Изменение состава происходит в результате взаимодействия воды с вмещающими породами, а также по пути движения вод от области питания к области разгрузки.

Разломы играют большую роль в формировании природных вод в условиях рифтогенеза. Неглубокие разломы служат дренами подземных трещинно-грунтовых вод массивов, что приводит к локализации потока подземных вод в пределах разломной структуры и, как следствие, формированию крупных месторождений, имеющих большое значение для водоснабжения. В районах развития многолетнемерзлых пород такие структуры обуславливают наличие таликовых зон и образование месторождений подземных вод.

Таким образом, химический состав подземных вод бассейнов и массивов хорошо объясняется воздействием типичных природных факторов, к которым относятся орография, гидрография, климат, почвы, растительность, развитие ММП, геолого-структурные условия. Генезис этих вод определяется как атмосферный. Неоднозначен генезис трещинно-жильных вод глубоких разломов, характеризующихся повышенными температурами, специфическим микрокомпонентным и изотопным составами. Разрывные нарушения глубокого заложения являются спецификой рифтогенных структур. Они позволяют проникнуть воде на большие глубины, а близкое к поверхности расположение астеносферного слоя, свойственное зонам растяжения, предполагает повышенный тепловой флюидопоток, и, как следствие, – нагревание подземных атмосферных вод и изменение их состава и свойств. Гидротермы, связанные с глубокими разломами, обладают специфическим макро- и микрокомпонентным составом (Ткачук, 1963; Ломоносов, 1974; Пиннекер, Писарский, 1977; Маринов, 1978; Басков, Суриков, 1989; Борисенко, 1989;), резко отличным от состава холодных пресных подземных вод того же района. Современные гидротермы рифтов (Исландия, Байкальский рифт, Восточно-Африканская рифтовая система) в отличие от гидротерм зон субдукции, пресноводны (Конов, 1989; Чудаев, 2002). Более того, изотопные характеристики гидротерм (в частности, «мантийная метка» $^3\text{He}/^4\text{He}$) позволяют предполагать участие мантийных флюидов в их формировании.

Флюидный режим рифтовых зон; его влияние на формирование подземных вод. В основе всех геологических концепций о развитии Земли как космического тела лежат представления о дегазации и выносе из недр в верхние горизонты литосферы и за ее пределы огромных масс вещества. Если в архее она носила площадной характер, в протерозое – ареальный, то в фанерозое это дискретно-линейный тип дегазации планеты. Процесс «старения»

Земли необратим, каждому ее новому состоянию отвечает свой режим дегазации, локализованной к настоящему времени, прежде всего, в зонах спрединга. Это позволяет считать, что именно глубокие рифтогенные разломы служат флюидовыводящими каналами. В условиях рифтовой геодинамической обстановки, где астеносферный слой расположен близко к поверхности и наблюдается повышенный тепловой поток территории, а глубокие разломные зоны позволяют летучим подниматься к поверхности, трещинно-жильные воды рифтов испытывают воздействие мантийных флюидов. Часть газов вступает в реакцию с окружающей средой, и они уже не могут рассматриваться как мантийные, однако гелий, являясь инертным газом, фиксируется в первичных концентрациях даже в поверхностных водах.

Главной проблемой в понимании процесса дегазации для гидрогеологов остается определение особенностей воздействия мантийного источника на гидросферу рифтовых зон: что привносит восходящий флюид в химический, изотопный и газовый состав подземных вод, какой механизм воздействия существует, происходит ли взаимодействие с окружающими породами, фракционирование изотопов и т.д.

Несмотря на существование огромного количества сведений по составу подземных вод и флюидных включений различных мантийных пород регионов тектонической активности, а также термодинамические исследования по поведению различных элементов в условиях высоких давлений и температур, представления о первичном флюиде, являющемся источником появления на Земле водной оболочки, и механизме формирования ее химического состава далеко не однозначны. В настоящее время можно говорить о следующих ведущих концепциях. Это известные гипотезы о соленом составе исходной гидросферы Виноградова А.П. (1959), Руби В. (1964), Валяшко М.Г. (1971) и стоящая особняком гипотеза о пресном ювенильном океане Грачева А.Ф. и Мартыновой М.А. (1980).

Глава 2. Природные условия формирования подземных вод северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны

С целью определения закономерностей формирования подземных вод различных типов гидрогеологических структур северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны выполнен анализ имеющихся материалов по геологическим, гидрогеологическим и климатическим условиям территории. В главе изложена обобщенная информация о ландшафтных факторах (орографии, гидрографии, климате, почвах и растительности, распространении многолетнемерзлых пород) и геолого-структурных условиях территории, включая историю геологического развития и характеристику современных геологических структур.

Глава 3. Структурно – гидрогеологическое районирование и характеристика гидрогеологических структур

В районе СМТ выделяются следующие гидрогеологические структуры: Муяканский бассейн, Северо-Муйский массив и обводненные разломы (Верхнеангарский, Верхнемуйский, Ангаракан-Ковоктинский, Перевальный и многочисленные локальные зоны дробления).

Муяканский бассейн. Фундамент бассейна имеет блоковое строение, представлен отложениями архея, протерозоя, кембрия и интрузивными образованиями архейско-протерозойского и палеозойского возрастов. В центральной части бассейна расположена межвпадинная перемычка, сформированная оперяющимися разломами северо-восточного направления и вскрытая руслом реки. Кристаллический фундамент перекрыт кайнозойскими отложениями мощностью 1000–1500 м различного генезиса: это речные, озерные отложения суммарной мощностью 262 м, флювиогляциальные отложения самаровской и зырянской эпох оледенения, распространенные практически повсеместно (мощность морен на отдельных участках достигает 200 м и более). Глубина сезонного оттаивания в рассматриваемом районе незначительна, поэтому надмерзлотные воды практического интереса не представляют. Значительная часть подземного стока концентрируется в узких таликовых зонах, развитых в долинах крупных рек, заложенных по зонам тектонических нарушений. Флювиогляциальные отложения имеют высокие фильтрационные свойства, но очень невыдержанны в разрезе, прерываясь прослоями суглинков и пылеватых песков. Дебит отдельных водопроявлений достигает 40 л/с, но в основном 3–5 л/с. Воды по химическому составу гидрокарбонат-

но–хлоридные натриевые, натриево–кальциевые с минерализацией до $0,03 \text{ г/дм}^3$. В настоящее время для водоснабжения п. Северомуйск совместно используются воды аллювиальных отложений средне – верхнечетвертичного возраста и пород коренной основы.

Северо-Муйский массив. В пределах Северо-Муйского массива коренные породы представлены гранитами и гранитоидами, реже гранодиоритами, на некоторых участках они перекрыты песчано–галечниковыми отложениями плейстоцена и голоцена (галечники, пески, супеси, реже суглинки и глины). Водообильность зоны экзогенной трещиноватости незначительна. Максимальные значения она приобретает в местах слияния с трещиноватостью эндогенного происхождения. Состояние и параметры подземных вод определяются распространённостью многолетнемерзлых пород, напрямую зависящей от гипсометрического положения. Глубины вскрытия трещинно–грунтовых вод в массиве изменяются от десятков сантиметров до первых десятков метров. Дебиты родников, как правило, не превышают $0,5–1 \text{ л/с}$; удельные дебиты скважин составляют сотые – десятые доли л/с . По химическому составу трещинно–грунтовые воды гранитоидов гидрокарбонатные кальциево–натриевые или натриево–кальциевые с величиной минерализации $0,01–0,05 \text{ г/дм}^3$ (Хлыстов, 1988). Для организации водоснабжения воды мало перспективны; в обводнении подземных сооружений принимают участие совместно с трещинно–жильными водами зон тектонических нарушений, однако их доля не сопоставима с водами разломов.

Приповерхностные и глубокие обводненные разломы. Трещинно–жильные воды зон разломов выводятся на поверхность нисходящими и восходящими родниками, часто образующими крупные очаги разгрузки линейного или площадного типов. В районе СМТ величина суммарного родникового стока на площади 280 км^2 составляет $408,5 \text{ л/с}$, модуль родникового стока $1,46 \text{ л/с км}^2$ (Пиннекер, Ясько, 1988). Наиболее крупнодебитные (до $20–100 \text{ л/с}$), как правило, постояннодействующие родники приурочены к зонам главных разрывных нарушений и к узлам их пересечений. С трещинно–жильными водами связаны проявления слаборадоновых вод, тяготеющих к зоне Муяканского разлома. К системе нарушений Муяканского, Ангараканского и Перевального разломов также приурочиваются наиболее контрастные аномалии содержания гелия в подземных водах, связанные с разгрузкой термальных вод в узлах их пересечений (Итыкитский и Окусиканский очаги разгрузки). Трещинно–жильные воды вскрыты многими скважинами в районе СМТ и в пределах Муяканской впадины, где они часто обладали значительными напорами ($350–400 \text{ м}$). Пьезометрические уровни устанавливались выше поверхности на $30–60 \text{ м}$, а дебит самоизлива достигал $38,5 \text{ л/с}$ (Хлыстов, 1988). Обводненность зон разломов высокая и при прочих равных условиях дифференцирована относительно внутреннего строения и состояния пород в пределах зоны дробления тектонического нарушения. Талики наблюдаются по многим разломам и, особенно, в узлах их пересечений. По химическому составу холодные трещинно–жильные воды зон разломов преимущественно гидрокарбонатные натриево–кальциевые с минерализацией $0,02–0,06 \text{ г/дм}^3$. К глубоким же разломам приурочена разгрузка термальных вод, в составе которых повышается содержание сульфатов, фтора и кремнекислоты, а величина минерализации возрастает до $0,19 \text{ г/дм}^3$. Трещинно–жильные воды обводненных разломов имеют ведущее практическое значение для водоснабжения и бальнеологических целей. Однако именно этот тип подземных вод формирует и основные водопритоки в тоннель и дренажную штольню.

Глава 4. Современная обводненность Северо-Муйского тоннеля БАМ

Детальное структурно-гидрогеологическое районирование и гидрогеохимическая типизация. Трасса тоннеля пересекает 3 крупных тектонических блока, которые по условиям формирования подземных вод выделяются как гидрогеологические массивы II порядка, входящие в состав Северо-Муйского гидрогеологического массива I порядка (рис. 1).

Для этого типа структур характерно развитие трещинно-грунтовых подземных вод в зоне экзогенного выветривания. Блоки разделены зонами тектонических нарушений, представляющими собой структуры обводненных разломов со свойственными только им особенностями формирования подземных вод трещинно-жильного типа. Основное влияние на их физико-химические параметры оказывают глубины заложения тектонических нарушений, что обуславливает выделение глубоких и приповерхностных обводненных разломов. В районе

выделяется и третий тип гидрогеологических структур – гидрогеологические бассейны. Они представлены наложенными бассейнами, пространственно приуроченными к аллювиальным отложениям ручьев Вертолетного, Трогового, Безымянного, но непосредственно тоннелем и штольной не вскрываемые. Подземными горными выработками вскрыта крупная структура на западном участке тоннеля - Ангараканская депрессия, представляющая одноименный гидрогеологический бассейн с порово-пластовым типом подземных вод (на рис.1-№1).

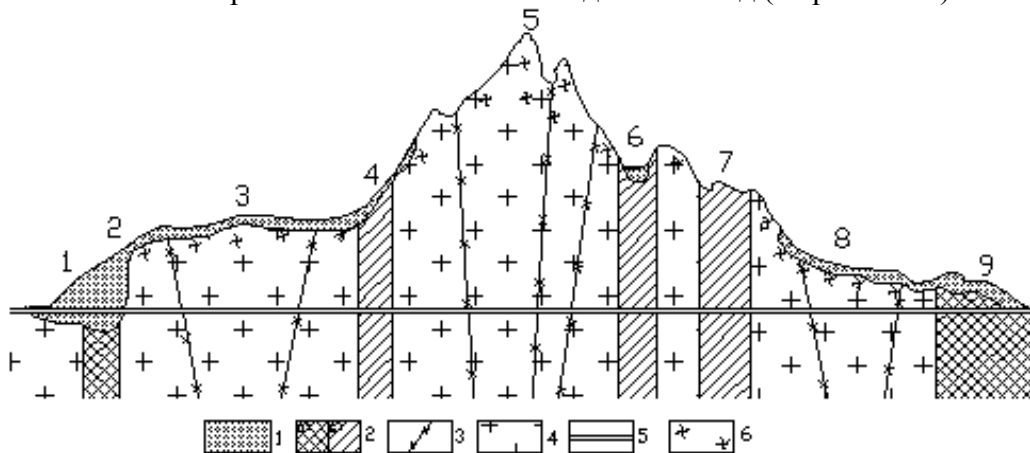


Рис. 1. Разрез по оси тоннеля. Гидрогеологические структуры: 1 – гидрогеологические бассейны; 2 - зоны обводненных разломов: а – глубоких, б - приповерхностных; 3 – единичные обводненные разломы; 4 – гидрогеологические массивы. Прочие знаки: 5 – ось тоннеля; 6 – зона экзогенной трещиноватости. *Примечание.* Нумерация выделенных структур приведена в соответствии с таблицей 1.

Вкрест простирания выделенных гидрогеологических структур согласно с осью тоннеля проходит зона Перевального разлома - региональная дрена поверхностных вод, принимающих важное участие в формировании водопритоков в тоннель и штольную. По материалам ранее выполненных работ (Пиннекер, Ясько, 1980; Хлыстов, 1988; Шабынин, 2001), а также исследований с участием автора (Обследование и экспертиза технического состояния СМТ, 2003), в диссертационной работе приведена характеристика подземных вод выделенных гидрогеологических структур и связанные с ними водопритоки в тоннель и штольную (табл.1).

Таблица 1

Характеристика подземных вод гидрогеологических структур района СМТ

№	Гидрогеологическая структура	t, °C	pH	He, *10 ⁻⁵ см ³ /дм ³	F ⁻ , мг/дм ³	H ₄ SiO ₄ , мг/дм ³	M, мг/дм ³	водо- приток, м ³ /ч
1 и 2	Ангараканский бассейн и Ангаракан-Ковоктинский обводненный разлом	13 - 19,6	9,3 - 9,5	62 - 63	1,9 - 2,5	20 - 25	91 - 109	500
3	Западный гидрогеологический массив	2,4 - 6,3	7,3 - 11,6	5 - 7	0,1 - 0,7	13 - 20	26 - 150	200
4	Зона приповерхностных обводненных разломов (тектоническая зона №4)	3,4 - 4,5	9,4 - 10,5	5	0,4 - 0,7	13 - 15	27 - 38	2500
5	Гольцовый гидрогеологический массив	2 - 7,8	7,8 - 10,6	5 - 7	0,3 - 1	15 - 25	26 - 86	1000
6	Троговая зона приповерхностных разломов	2 - 3,4	8,8	5 - 9	0,4 - 0,5	15 - 20	25 - 44	300
7	Зона приповерхностных обводненных разломов (тектоническая зона №3)	2 - 3,4	7,2 - 9,8	5 - 7	0,2 - 0,5	12 - 20	24 - 43	800
8	Восточный гидрогеологический массив	1,2 - 3,2	7,2 - 9,8	5 - 18	0,2 - 5,1	10 - 25	22 - 78	200
9	Восточная зона глубоких обводненных разломов	12,1 - 39	8,3 - 9,1	176-432	2,9 - 11,9	25 - 65	74 - 163	3000

Результаты гидрогеохимической типизации. Для установления закономерностей формирования и генетических особенностей подземных вод привлечен статистический метод кластер-анализа Q- типа, который позволяет выделять классы подземных вод со сходным химическим составом. Статистическая обработка данных химического опробования водопроявлений СМТ и разведочно-дренажной штольни выполнена для 130 проб по 13 параметрам (рН, F⁻, H₄SiO₄, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Fe³⁺, NO₃⁻). В результате обработки данных химического состава подземных вод выделяется 2 типа подземных вод, отражающих особенности их генезиса:

- атмосферные воды массивов и приповерхностных разломов (тип 1, рис. 2);
- трещинно-жильные воды глубоких разломов с участием глубинной компоненты (тип 2, рис. 2).

Другие группы подземных вод, выделенные кластер-анализом, представляют собой результат смешения подземных вод этих 2 типов с различным долевым участием и Р,Т-условиями (на рис. 2 – типы 3 и 4). Таким образом, в основе типизации лежат не только структурно-гидрогеологические принципы систематизации подземных вод, но и генетические особенности их формирования. Это наглядно проявляется в единстве химического состава подземных вод различных типов структур.

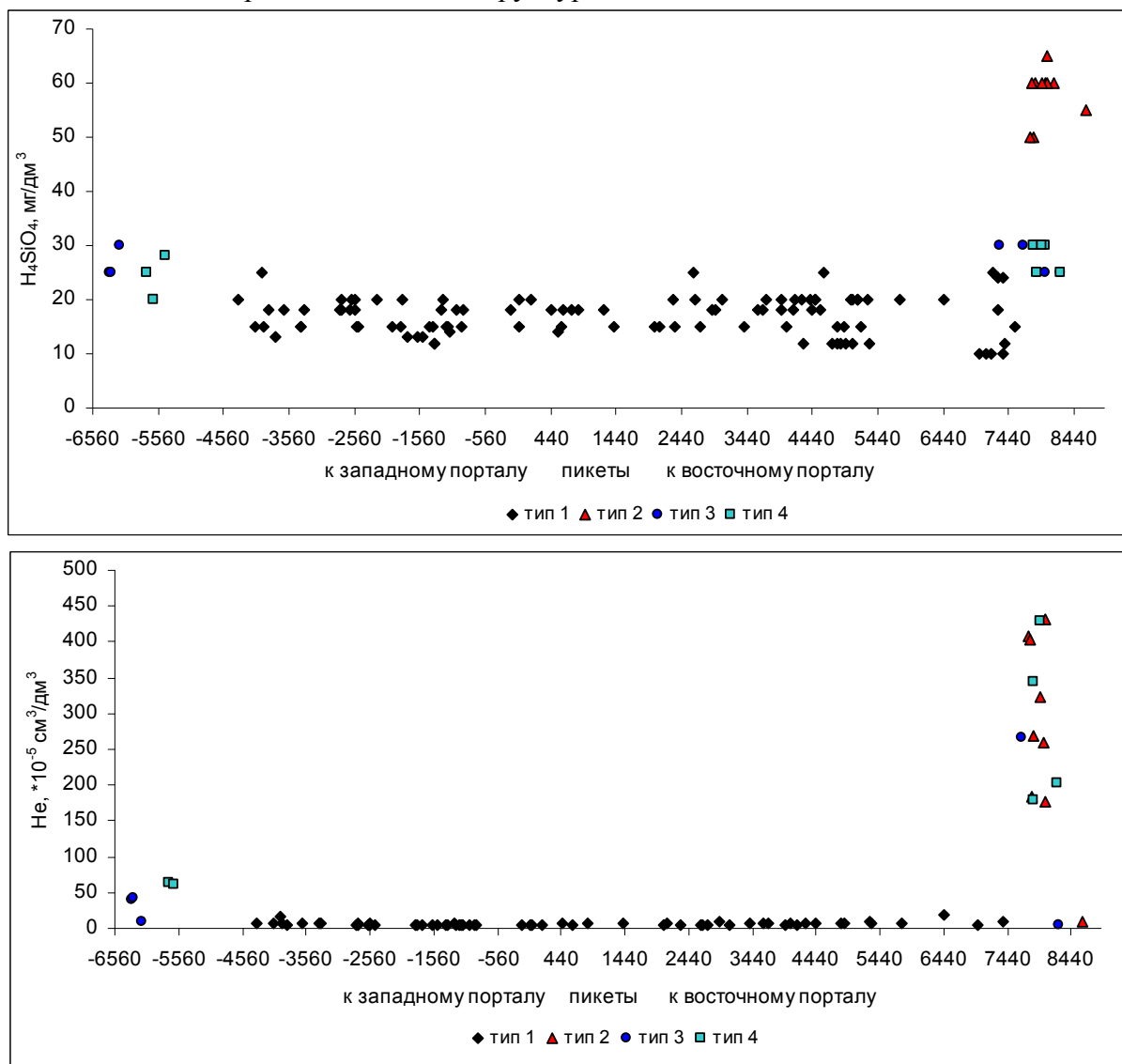


Рис. 2. Результаты статистического кластер-анализа (Q-типа) с типизацией подземных вод различных структур района СМТ: тип 1 – подземные воды гидрогеологических массивов и приповерхностных разломов; тип 2 – подземные воды глубоких разломов; тип 3 – смешанные подземные воды глубоких и приповерхностных разломов с преобладающей долей последних; тип 4 – смешанные подземные воды приповерхностных и глубоких разломов с преобладающей долей последних

Так, подземные воды гидрогеологических массивов и приповерхностных разломов выделяются в один тип, объединенные атмогенным происхождением. Подземные воды глубоких разломов выделяются как самостоятельный тип.

Полная интерпретация различий химического состава подземных вод трех типов структур возможна с привлечением результатов физико-химического моделирования. Объект моделирования представляет собой представительное для выделенной структуры водопоявление, состав которого отражает яркие особенности его формирования.

Глава 5. Физико-химическое моделирование в структурной гидрогеологии

Имитационное термодинамическое моделирование является важным методом познания процессов формирования как природных, так и природно-техногенных вод. Это объясняется тем, что чисто аналитическое воспроизведение их эволюции во времени и пространстве практически невозможно из-за сложности физико-химических превращений в этих системах, а также большого числа связей между ними (Чудненко, 1999).

В настоящей главе приведены сведения об истории развития этого направления, возможностях метода минимизации свободной энергии Гиббса, его достоинствах и недостатках, основных терминах и понятиях, сопровождающих моделирование геохимических процессов.

Моделирование процессов формирования состава подземных вод района СМТ. Для исследования особенностей формирования состава подземных вод, участвующих в обводнении тоннеля и разведочно-дренажной штольни, использован программно-вычислительный комплекс «Селектор» со встроенным блоком резервуарной динамики, созданный под руководством доктора г.м.-н. И.К. Карпова (ИГХ СО РАН). Термодинамическое моделирование в настоящей работе выполнено для решения следующих задач:

1. Проследить изменение состава атмосферных осадков, фильтрующихся по зонам выветривания и приповерхностных разломов и сопоставить модельный и реальный составы подземных вод, разгружающихся в штольню и тоннель.

2. Воссоздать условия формирования термальных вод и эволюцию их состава по мере восходящего движения к области разгрузки.

3. Оценить деструктивное воздействие подземных вод на горные породы и бетонную обделку тоннеля.

Модель № 1 «подземные воды массивов и приповерхностных разломов». Модель отражает процесс преобразования состава атмосферных осадков в ходе инфильтрации по зонам экзогенной и тектонической трещиноватости приповерхностных разломов и взаимодействия с гранитами конкудеро-мамakanского комплекса раннепротерозойского возраста. На последнем этапе перед разгрузкой подземных вод в тоннель и дренажную штольню их взаимодействие осуществляется с бетонной обделкой подземных сооружений. Модель имитирует проточный реактор – совокупность последовательно связанных потоками водного раствора резервуаров. Такая модель позволяет проследить изменяющийся состав равновесных твердых фаз, образующихся при взаимодействии все новых количеств «прокачиваемого» раствора с исходной породой. Таким образом, можно проследить как смену равновесного состава водного раствора, так и равновесных минеральных фаз при условии постоянного валового состава исходной породы. Это позволяет совместить в одном исследовании процессы выветривания и формирования подземных вод.

Резервуар 1 расположен в зоне экзогенной трещиноватости гранитов, открыт по отношению к атмосфере. Температура в резервуаре 4°C, давление 1 бар. Соотношение вода:порода = 1:0,000001. Резервуар 2 характеризует глубокий участок массива, с ограниченным доступом атмосферы и представляет собой зону дробления приповерхностного разлома. Температура, давление и состав гранитов те же, соотношение вода:порода составляет 1:0,00001. Резервуар 3 представляет бетонную обделку тоннеля или штольни; в резервуаре присутствует атмосфера. Температура и давление те же, соотношение вода:бетон составляет 1:0,00002. Резервуар 4 имитирует обстановку тоннеля, заполнен атмосферой. Температура и давление 4°C и 1 бар, соответственно.

Настоящая многорезервуарная модель сформирована в таком варианте, когда все новые и новые порции атмосферных осадков проходят по одним и тем же резервуарам. Осо-

бенностью моделируемой системы является высокая степень трещиноватости пород, поэтому на каждом цикле вода фильтруется по густой сети трещин, взаимодействуя на каждом новом цикле с некоторым количеством неизменной породы (0,001% от исходного количества породы). Такая структура потоков вещества в модели позволяет добиться стабильности состава подземных вод, фиксируемых в тоннеле и штольне, а также практически полного соответствия новообразованных минеральных ассоциаций, наблюдаемых в тоннеле. Используемый подход позволяет наблюдать процесс в определенной, четко зафиксированной динамике, которая соответствует реальной обстановке Северо-Муйского массива.

Формирование состава подземных вод, по результатам моделирования, практически стабилизируется после прохождения резервуаров 1 и 2. Влияние бетона (резервуар 3) на состав воды проявляется лишь в увеличении Ca^+ , HCO_3^- и pH, что естественно приводит и к некоторому разрушению самой бетонной обделки. Тем не менее, бетон оказывается барьером на пути движения высокоагрессивных вод. Основными источниками химических элементов в резервуарах 1 и 2 являются горная порода и атмосфера, причем атмосфера поставляет в раствор углекислоту и, таким образом, именно атмосфера обеспечивает подземные воды HCO_3^- и CO_3^- . Увеличение содержания HCO_3^- и CO_3^- с продвижением воды по резервуарам объясняется повышением общей минерализации и pH раствора и, следовательно, большей растворимостью элементов (Si, HCO_3^- , Ca^+ , Na^+ и S и др.). Причем концентрация Si увеличивается по мере взаимодействия с гранитами, а Ca^+ и Na^+ – вследствие взаимодействия с бетоном.

Физико-химическое моделирование показало высокую сходимость результатов с общепринятыми представлениями о стадиях гипергенного преобразования пород при взаимодействии с атмосферными водами с образованием гидрогенно-минеральных комплексов (Рыженко, 1996; Шварцев, 1998). На первых стадиях взаимодействия (первый резервуар – гранитная система) образуются гиббсит, иллит, кварц, при переходе во второй резервуар (та же гранитная система, только с ограниченным доступом атмосферы) формируются каолинит, тальк и иллит. Эти минералы – типичные спутники зоны гипергенеза. В третьем резервуаре (бетонная система) в качестве твердых фаз фиксируются кварц, иллиты, тальк, небольшое количество каолинита и примеси гидропатита. Четвертый резервуар, изначально пустой, принимает водный раствор, из которого выпадают следующие минералы: кварц, иллиты, незначительное количество гидропатитов.

Результаты моделирования адекватно описывают обстановку района СМТ, что подтверждает согласованность модельного и реального составов воды в четвертом резервуаре (рис. 3). Важным выводом является то, что гранит оказывается менее устойчивым по сравнению с бетоном, что проявляется в значительно большем количестве выносимого вещества в результате взаимодействия.

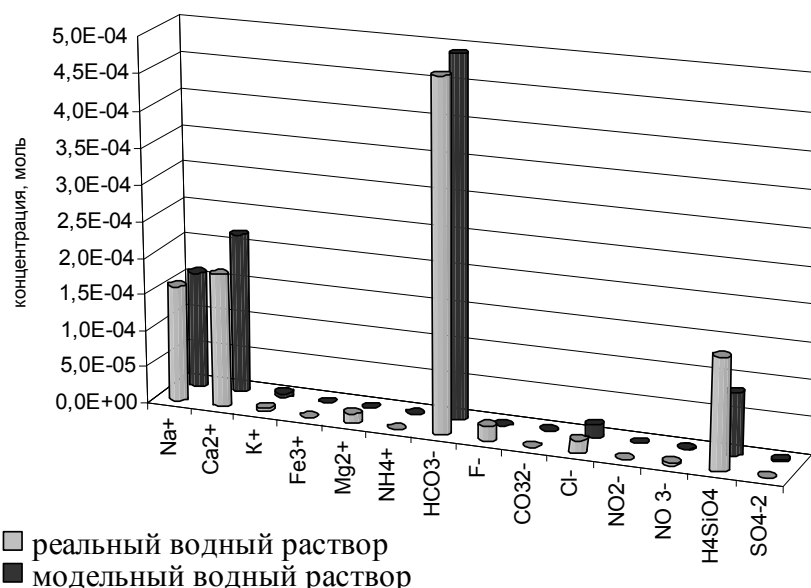


Рис. 3. Сопоставление реального и модельного составов водного раствора в резервуаре 4 (тоннеле)

Модель № 2 «подземные воды глубоких разломов». Модель имитирует процесс формирования термальных вод в результате нагревания атмогенных вод на значительных глубинах с последующей разгрузкой в тоннеле. По данным Голубева В.А. (2007) глубина формирования термальных вод района СМТ составляет 4,4 км, давление и температура на этой глубине согласно работе Карпова И.К. (1998) определены в 1000 бар и 82°С, соответственно. Вмещающие породы представлены гранитами конкудеро-мамаканского комплекса ранне-протерозойского возраста того же состава, что и граниты в модели №1. Для контроля модельного состава использован реальный состав термальных вод, разгружающихся на восточном портале СМТ (ПК 7861).

Резервуар 1 представлен зоной дробления гранитов глубокого разлома, в который поступает вода, по составу отвечающая подземным водам типа №1. Температура в резервуаре составляет 82°С, давление 1000 бар, соотношение вода:порода 1:0,001, резервуар закрыт по отношению к атмосфере. Резервуар 2 представляет бетонную обделку тоннеля или штольни. Температура в нем 39°С, давление 1 бар, влияние атмосферы ограничено, соотношение вода:бетон равно 1:0,0003. Резервуар 3 имитирует обстановку тоннеля, заполнен атмосферой. Температура и давление в нем 39°С и 1 бар, соответственно. Подвижностью обладает одна фаза – водная, которая последовательно проходит от резервуара 1 до 3. Модель реализована в циклическом варианте.

Исследования поведения термальных вод показали, что они обладают большей химической активностью на первых стадиях взаимодействия с гранитом по сравнению с холодными атмогенными водами, что проявляется в повышенной растворимости кальция, натрия. Значительную роль при этом играют и РТ-условия резервуара 1 (Р 1000 бар, t 82°С). Агрессивность подземных вод наиболее ярко проявляется при взаимодействии с породами (резервуар 1), а после перехода раствора в резервуар 2 (бетон) состав воды практически не изменяется, что говорит о том, что водный раствор поступает уже насыщенным и химически инертным. Тем не менее, разрушение бетона происходит, о чем свидетельствует образование кальцита.

Процесс эволюции водного раствора при его нагревании в гранитах на большой глубине, взаимодействии с бетонной обделкой и остывании сопровождается преобразованием и вмещающей породы. В резервуаре 1 с высокой температурой и давлением образуются значительные количества кварца, меньшие количества слюды, цоисита, иллита и талька, примеси гидроапатита. Все формирующиеся в первом резервуаре минералы являются результатом гидротермального воздействия раствора на граниты. Во втором резервуаре ведущим также является кварц; спецификой резервуара выступает кальцит, формирование которого связано с процессом взаимодействия термального раствора с бетоном. Кроме того, из раствора выпадают незначительные количества талька, мусковита, парагонита и пиролюзита. Формирование кальцита и кварца во втором резервуаре модели подтверждается наблюдениями сталактитовых и натечных форм в тоннеле.

Сталактитовые новообразования являются результатом выпадения углекислой извести из насыщенных растворов, которые при нависании в виде капель с потолка в результате испарения теряют воду, пересыхают и выделяют коллоидальные или тонкодисперсные осадки в виде натечных масс, постепенно твердеющих. По результатам минералогического, рентгено-структурного анализов (Институт земной коры СО РАН), а также химического и силикатного анализов (Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН) новообразования в тоннеле представлены кальцитами, с небольшими примесями кварца, в некоторых случаях глинистой фазы, доломита, соединениями стронция и железа. Такая согласованность свидетельствует об адекватности модели.

Однако результаты моделирования показывают неполную согласованность составов модельного и реального растворов термальной воды, разгружающейся в тоннеле - резервуаре 3. По величине минерализации, рН и основным макрокомпонентам расхождений нет. Значительная разница наблюдается по F и Li, содержания которых в реальном растворе значительно превышают их количества в модельном (рис. 4).

Состав гранита не обеспечивает достаточного перехода этих компонентов в водный раствор. Возможно, природный процесс более сложен и в модели не учтены некоторые фак-

торы. Сложно объяснить избыток F и Li в реальной воде по сравнению с модельной. Согласно модели, граниты не могут обеспечить переход этих элементов в тех количествах, которые фиксируются в термальных подземных водах, а сомневаться в адекватности модели нет оснований. Правильность модели проверена не только согласованностью по всем остальным компонентам модельного и реального растворов, но и близостью параметров с водой Окуси-канского термального источника, сдrenированного после строительства тоннеля. По данным Ломоносова И.С. (1977) его минерализация составляла 320 мг/дм^3 , содержание кремниевой кислоты 53 мг/дм^3 , а pH 7,2. Практически такими же параметрами обладает модельный раствор после первого резервуара, еще не вступивший во взаимодействие с бетоном: минерализация 293 мг/дм^3 , H_4SiO_4 64 мг/дм^3 , pH раствора выше – 8,6, но она снижается при взаимодействии с атмосферой. Такая согласованность подтверждает правильность модели, а также свидетельствует о значительном преобразовании исходного раствора при переходе во второй резервуар вследствие снижения температуры и давления. Термальные воды, разгружающиеся на ПК 7861, характеризуются существенно более низкой минерализацией – 193 мг/дм^3 и высокой pH – 9,1, содержание кремниевой кислоты 60 мг/дм^3 , близкими параметрами обладает и модельный раствор.

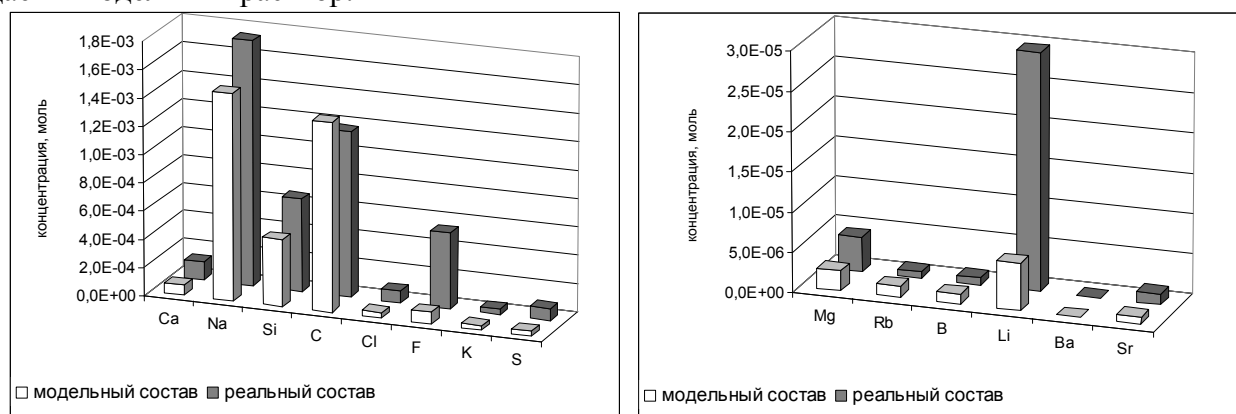


Рис. 4. Сопоставление модельного и реального составов термального водного раствора по микрокомпонентам.

Возможным объяснением является существование дополнительного источника формирования подземных вод, обеспечивающего привнос ряда микрокомпонентов в количествах, покрывающих разницу между модельным и реальным составами термальных водах зон глубоких разломов. Таким источником в рифтовой геодинамической обстановке может являться подкоровый глубинный флюид, состав и свойства которого на данном этапе развития научного мировоззрения однозначно еще не определены и характеризуются противоречиво. Тем не менее, полученные результаты являются еще одним свидетельством уникальности трещинно-жильных вод глубоких разломов.

Моделирование процесса разрушения бетонной обделки. Наряду с высокой обводненностью тоннеля, важной проблемой эксплуатации является разрушение бетонной обделки тоннеля на участках высачивания подземных вод, которые приобретают несвойственное им высокое значение pH (до 9-10). Одной из задач настоящей работы являлось исследование и оценка процесса воздействия подземных холодных и термальных вод на бетонную обделку тоннеля и сравнение его интенсивности с процессом разрушения гранитов при взаимодействии с этими же водами.

В Северо-Муйском тоннеле наиболее вероятен I тип коррозии бетона (по Москвину, 1971), который характеризуется растворением цементного камня под действием мягких вод. Основным агрессивным агентом в этом случае выступает углекислота H_2CO_3 . Однако несмотря на то, что подземные воды района СМТ классифицируются как гидрокарбонатные, а значит, потенциально агрессивные по углекислоте, диапазон значений pH подземных вод не позволяет ей существовать в такой форме (H_2CO_3) и приводит к диссоциации углекислоты на компоненты HCO_3^- и H^+ , практически неагрессивные к бетону. Таким образом, для СМТ основными агентами разрушения бетона являются гидростатический напор, достигающий 50 атм (тектоническая зона №4), высокие скорости движения воды (до 2500 м/сут) и, в меньшей мере, углекислота. Время контакта трещинно-жильных вод с тампонажными пробками раз-

ломных зон и обделки тоннеля невелики, по этой причине следует ожидать не самозалечивания фильтрационных каналов, а, наоборот, увеличения их размеров со временем (Обследование и экспертиза технического состояния СМТ, 2003). Об этом же свидетельствует и увеличение пористости, которая уже составляет 22,6%.

На базе разработанных и рассмотренных выше моделей формирования подземных вод были созданы модели взаимодействия в системе «бетон-вода», «гранит-вода» при различных температурах (4°C и 39°C). Во взаимодействии с 1 кг воды участвует от 10 г до 0,00001 г твердого вещества. Целью такого сравнительного моделирования была оценка агрессивного воздействия подземных вод как на бетонную обделку, так и на гранит.

Модель №3.1 «бетон – вода» при t 4°C и 39°C представляет собой простую однорезервуарную систему, в которой находится бетон и вода при температуре 4°C и давлении 1 бар, что соответствует условиям тоннеля на «холодном участке» - в его центральной части. Состав воды отвечает усредненному составу подземных вод инфильтрационного происхождения (модель №1), состав бетона соответствует реальному. Эта же модель рассмотрена при температуре 39°C, что отвечает условиям на припортальных участках тоннеля, где разгружаются термальные воды. В этом варианте состав холодных инфильтрационных вод заменен на состав воды ПК 7861 (разгружающиеся термальные воды). По результатам моделирования состава подземных вод (модели №1 и №2) во взаимодействии с 1 кг воды участвует от 0,02 г до 0,3 г бетона. Минерализация растворов в таких условиях составляет 129 мг/дм³ при воздействии холодных вод (4°C) и 199 мг/дм³ при воздействии термальных вод (39°C), рН растворов - 8,4 и 8,6, соответственно, что отвечает параметрам реальных растворов.

Модель № 3.2. «гранит-вода» при t 4°C и 39°C характеризуется теми же параметрами, что и модель № 3.1., но с заменой бетона гранитом. При тех же соотношениях вода:твердое вещество минерализация достигает уже 162 мг/дм³ в системе «гранит – холодные воды», и 280 мг/дм³ при воздействии термальных вод, рН растворов составляет 8,4 и 8,8, соответственно.

Изменение минерализации воды при взаимодействии с различным количеством бетона, гранита и различных температурах представлены на рис.5. На графиках видно, что при взаимодействии с 1 кг воды 0,02-0,3 г твердого вещества (что соответствует условиям тоннеля (белое поле)) при некоторых соотношениях вода:твердое вещество (серое поле) разрушение гранита идет интенсивнее, чем бетона, о чем свидетельствует бóльшая минерализация раствора после взаимодействия с гранитом, а значит и бóльший вынос элементов из породы.

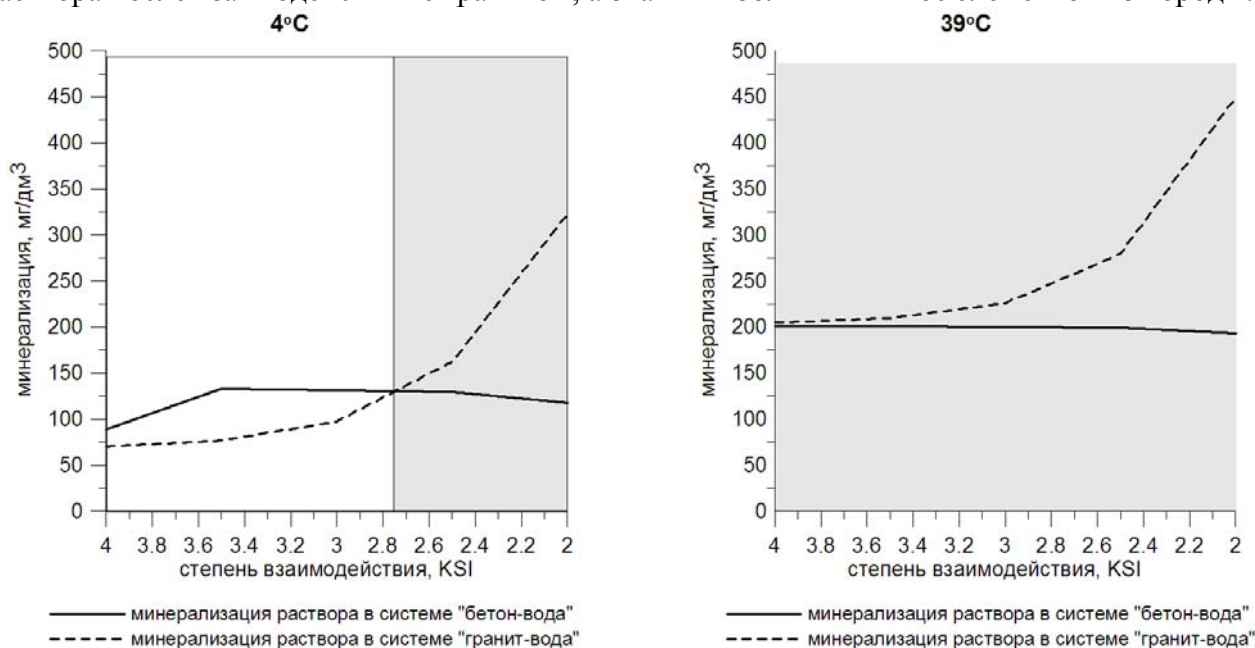


Рис. 5. Сравнительная характеристика водного раствора в результате взаимодействия в системах «бетон - вода» и «гранит-вода» при 4°C и 39°C.

Таким образом, количество растворенного материала, выносимого водой из гранита, почти в 1,5 раза больше, чем из бетона. Интенсивному разрушению гранита способствует

также и его высокая раздробленность в зонах тектонических нарушений, которые тяготеют к флангам тоннеля, где разгружаются термальные воды, что отражается в модели. Это явление также фиксируется и на графиках: при взаимодействии с термальными водами область интенсивного разрушения гранитов расширяется, как возрастает и величина минерализации раствора. Важно отметить, что в данных моделях не учтены те специфические добавки в бетоне, которые увеличивают его водонепроницаемость и прочность, а их значение, без сомнения, велико, и степень разрушения бетона, вероятно, будет еще ниже.

Еще одним подтверждением вывода о большей устойчивости бетона является анализ полей устойчивости вторичных твердых фаз, выпадающих из раствора при различных степенях протекания реакции в моделях «бетон-вода» и «гранит-вода». Основными минералами, формирующимися в результате взаимодействия бетона с водой, выступают кальцит, кварц, пиррофиллит и клинокоисит. Если кальцит является прямым следствием разрушения бетона и нарушения его прочности, то клинокоисит – клинкерный минерал, «залечивающий» создаваемые пустоты. Из гранита же в больших количествах выносятся кварц, мусковит, кальцит и пиррофиллит, которые являются «каркасом» породы.

Постоянный вынос материала из породы приводит к образованию неустойчивых участков и пустот, бетон теряет свое естественное крепление и разрушается под лито- и гидростатическим напорами; важную роль, безусловно, играет и сам процесс его взаимодействия с подземными водами. В этом случае становится ясным, что с позиций химико-технологических мероприятий проводимые профилактические меры локального характера не могут остановить этот процесс. Так, на протяжении нескольких лет организацией «Бамтоннельстрой» выполнялся ряд мероприятий для восстановления отделки и предотвращения процесса коррозии: тампонаж холодных швов и отдельных течей, тампонаж по сетке, поверхностная гидроизоляция. Однако ожидаемого результата эти мероприятия не принесли. Обводненность тоннеля остается на прежнем высоком уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структурно-гидрогеологический анализ и результаты количественной оценки водопритоков позволили осуществить их дифференциацию, провести детальное гидрогеологическое районирование и установить, что основная современная обводненность СМТ связана с разгрузкой трещинно-жильных вод приповерхностных и глубоких разломов. Особые условия обводнения существуют в интервале Ангараканской депрессии, где в формировании водопритоков принимают участие порово-пластовые воды одноименного бассейна и трещинно-жильные воды Ангаракан-Ковоктинского обводненного разлома.

По результатам выполненных химико-аналитических исследований с использованием современных высокочувствительных методов произведена типизация составов подземных вод и установлены контрастно выделяющиеся зоны разгрузки трещинно-жильных термальных вод разломов глубокого заложения, характеризующиеся аномально высокими содержаниями сульфатов, He , F , Li , что свидетельствует о возможном участии в их формировании подкоровых компонентов. Дальнейшая статистическая обработка данных методом кластер-анализа позволила выделить типы подземных вод района СМТ, отличающиеся особенностями их генезиса.

Результаты численного моделирования процессов формирования подземных вод массивов и приповерхностных разломов заключаются в установлении зависимости степени изменения состава фильтрующихся вод от степени протекания реакции в системе «вода-порода». Моделирование процессов формирования термальных вод зон глубоких разломов, рассматриваемых по схеме нагревания атмосферных вод на глубине порядка 4 км при давлении 1000 бар, их подъема и разгрузки в дренажной штольне, показало, что состав гранитов не способен обеспечить переход необходимого количества некоторых микрокомпонентов в подземные воды. При этом макрокомпонентный состав модельных термальных вод полностью соответствует реальному составу подземных вод на ПК 7861 и воде Окусиканского источника, что еще раз свидетельствует об участии в их формировании подкоровой глубинной составляющей.

На основании термодинамического моделирования установлено, что подземные воды Северо-Муйского тоннеля при прочих равных условиях обладают более деструктивным воздействием на вмещающие породы, чем на бетонную обделку тоннеля. Постоянный вынос материала из породы приводит к образованию неустойчивых участков и пустот, бетон теряет сцепление с породой и разрушается под лито- и гидростатическим напорами. Возможным вариантом решения проблемы может служить внешняя гидроизоляция бетонной обделки путем нагнетания органических полимеров высокой вязкости в разломные зоны гранитов. Однако это требует специальных дополнительных исследований.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. **Алтынникова М.А.**, Диденков Ю.Н. Гидрогеологические структуры северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2005.- С.231-236.
2. **Алтынникова М.А.**, Диденков Ю.Н. Условия формирования современных гидротерм района Северо-Муйского тоннеля БАМа // Гидроминеральные ресурсы Восточной Сибири. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2005. - С.7-13.
3. Верховин И.И., Тугарина М.А., Диденков Ю.Н., Шабынин Л.Л., Реуцкая А.М., **Алтынникова М.А.**, Легун А.Ю. Условия обводненности Северомуйского тоннеля // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 4 (8), 2005. - С.152-159.
4. **Алтынникова М.А.** Роль геодинамического фактора в эволюции структурно-гидрогеологических условий (на примере северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны) // Строение литосферы и геодинамика (матер. XXI Всеросс. молод. конф.). – Иркутск: изд-во ИЗК СО РАН, 2005. - С.211-212.
5. Диденков Ю.Н., Мартынова М.А., Бычинский В.А., Ломоносов И.С., **Алтынникова М.А.** Влияние геодинамического режима на формирование пресных природных вод Байкальского региона // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии (матер. Междунар. науч. конф.). – Минск: изд-во ИГиГ НАН Беларуси, 2005. - С.86-88.
6. Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Ломоносов И.С., Мартынова М.А., **Алтынникова М.А.** Роль глубинных флюидов в формировании современной гидросферы байкальского региона // Гидрогеология в начале XXI века (матер. междунар. науч. конф.). - Новочеркасск: изд-во «Темп» ЮРГТУ, 2006. - С.35-38.
7. Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Ломоносов И.С., Мушаков А.А., **Алтынникова М.А.** Водно-углекислая нефть современной дегазации земли в Байкальской рифтовой зоне // Подземная гидросфера (матер. всеросс. совещ. по подз. водам Востока России. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2006. - С.29-32.
8. **Алтынникова М.А.**, Коптева А.В. Формирование пресных подземных вод как закономерный этап эволюции Байкальской рифтовой зоны // Новые идеи молодежи в науках о Земле (матер. III межвуз. конф. молод. уч. и студ.). – Москва: «Геоинформмарк», 2006. - С.83-88.
9. Диденков Ю.Н., Ломоносов И.С., **Алтынникова М.А.**, Шолохов П.А. Газогидраты и пресноводная гидросфера Байкальской впадины // Новые идеи в науках о Земле (матер. 8 междунар. конф.). - М.: ГЕОС, 2007. – С.15-19.
10. Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Ломоносов И.С., **Алтынникова М.А.** О генетической систематизации природных вод Байкальского рифта// Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды (матер. всеросс.науч. конф). - Иркутск: изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. - Т. 1. - С.155-158.
11. **Алтынникова М.А.** Роль структурно-гидрогеологических факторов в формировании подземных вод района Северо-Муйского тоннеля // Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование. ч. 1: Водохозяйственные проблемы (матер. всеросс. науч.–практ. конф. с междунар. уч.). - Оренбург, Пермь, 2008. - С.75-81.
12. **Алтынникова М.А.**, Диденков Ю.Н. Закономерности формирования подземных вод района Северо-Муйского тоннеля БАМ // **Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений.** - Выпуск 6(32). – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2008. – С.152-161.

13. Бычинский В.А., Диденков Ю.Н., Ломоносов И.С., **Алтынникова М.А.** Преобразование углеводородных флюидов в Байкальской рифтовой впадине // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезисы (матер. всеросс. конф.). - М.: ГЕОС, 2008. - С.79-81.
14. Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Ломоносов И.С., **Алтынникова М.А.**, Пшенникова Н.А. Обоснование возможности существования глубинного источника пресноводности гидросферы Байкальского региона // Приоритеты и особенности развития Байкальского региона (материалы III междунар. научно-практ. конф. - Улан-Удэ: изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2008. - С.242-244.