



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подведем основные итоги формирования гидротермальных систем Сихотэ-Алиня и Курило-Камчатского региона. Среди рассмотренных групп вод изучены следующие типы: углекислые (преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые), азотные (гидрокарбонатно-натриевые и сульфатно-натриевые) и наконец, термы, связанные с современной вулканической деятельностью (хлоридно-натриевые, сульфатные и их дериваты).

Углекислые воды Сихотэ-Алиня являются типичными представителями углекислых вод гидрокарбонатно – кальциевого состава. По структурной приуроченности выделяются два типа. Воды Западного и Центрального Сихотэ-Алиня формируются в зонах развития крупных взбросов и надвигов. Воды Восточного Сихотэ-Алиня приурочены к вулcano-тектоническим депрессиям, широко развитым в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Существующее химическое разнообразие углекислых вод определяется составом вмещающих пород, длительностью контакта вод с породами и степенью насыщения воды углекислым газом (парциальным давлением). Именно насыщение этих вод углекислым газом придает им слабокислую реакцию, что способствует более активному обмену элементами между водой и породами. Общая тенденция изменения состава вод в ряду атмосферные осадки, грунтовые воды, углекислые-минеральные направлена на возрастание доли кальция и гидрокарбонат-иона, что соответствует общей направленности эволюции подземных вод горных областей. Подобная тенденция сохраняется до насыщения вод по отношению к кальциту. Далее идет преимущественное накопление натрия. Выщелачивание натрия может происходить параллельно с накоплением кальция, если водовмещающие породы богаты натрием и бедны кальцием, при этом воды могут быть пересыщены по отношению к альбиту и недосыщены по отношению к кальциту, что наблюдается для некоторых изученных вод невысокой минерализации (<2 г/л). В случае высокой минерализации вод (месторождения Ласточка, Мухенское и Малкинское) они оказываются пересыщенными как по отношению к кальциту, так и по отношению к альбиту. Взаимодействие фоновых вод с углекислым газом и вмещающими породами приводит к прямому увеличению концентраций элементов, при этом существующие различия в фоновых водах по ряду элементов (Mo, As, Li, Cr, Cs) сохраняются и в углекислых. Тектоническая раздробленность территории способствует поступлению углекислого газа из глубин, возможно мантии. Глубина циркуляции вод составляет первые сотни метров, т.е. это воды неглубокой циркуляции.

Азотные гидрокарбонатно-натриевые термальные воды Восточного Сихотэ-Алиня являются типичными слабоминерализованными щелочными содовыми водами характерными для гранитных террейнов. В сравнении с аналогичными водами в Республике Корея, а также азотными термами Байкальской рифтовой зоны в Приморских водах ниже Cl, F, но выше HCO_3 и Si. Геохимическое поведение натрия, кремния и других элементов в этих водах зависит, прежде всего, от величины pH и температуры. Низкая минерализация и характер распределения РЗЭ свидетельствуют, что циркуляция вод в конвективной ячейке происходит достаточно быстро. Глубина проникновения вод не превышает 2.5 км. Температура глубинного резервуара вод близка 80°C . Резкое снижение температуры вод на выходе связано не только с кондуктивным охлаждением, но и с разбавлением термальных вод поверхностными холодными водами. Кроме того, достаточно мощная кора (около 30 км) и отсутствие молодого вулканизма предопределили относительно невысокий тепловой поток в районе месторождения Чистоводное (около $30^\circ\text{C}/\text{км}$). Метеорные воды, преимущественно Na- CO_3 -Cl- SO_4 состава, трансформируются вначале в Ca-Na- HCO_3 грунтовые воды и далее, при взаимодействии с гранитами в щелочной среде, образуют Na- HCO_3 воды. Повышение температуры от Чистоводненских термальных вод и далее на север (Амгу, Тумнин, Аненская группы) вдоль побережья Японского моря свидетельствует об увеличении теплового потока на север, что связано с разуплотнением коры и, как следствие, с появлением здесь молодого плиоценового вулканизма. Важно отметить, что источником тепла для этих вод служит региональный тепловой поток.

Азотные сульфатно-натриевые щелочные термы изучены в пределах Паратунского геотермального района (Паратунское месторождение вод, Начикинские и Карымшинские термы). Разгрузка вод происходит в Паратунской депрессии, которая в структурном плане представляет собой грабен, ступенчато погружающийся на северо-восток. Несмотря на общий гидрохимический тип вод (сульфатно-натриевые), существуют заметные вариации микроэлементного состава, отражающие состав вмещающих пород и степень влияния теплового поля. Формирование вод проходило под влиянием изолированных термоаномалий. Установлено, что Нижнепаратунский участок по концентрациям и распределению микроэлементов отличается от остальных. Здесь также выше содержание сульфат- и хлор-ионов. Если повышение сульфат – иона может быть связано с окислением пиритной серы, то вопрос об источнике хлора остается открытым. Верхнепаратунские источники по многим геохимическим параметрам близки Карымшинским проявлениям термальных вод. Эволюция вод в цикле метеорные – грунтовые – термальные воды вначале направлена на формирование преимущественно гидрокарбонатно-кальциевых грунтовых вод, а затем, под воздействием температуры, происходит формирование сульфатно-натриевых вод. Значительную роль играют процессы разбавления термальных вод холодными грунтовыми. Скорее всего, формирование вод Паратунского геотермального района происходит без влияния глубинного вещества. Судя по имеющимся данным, эта система является долгоживущей и находится на начальном этапе регрессивного развития.

Среди термальных вод действующих вулканов были рассмотрены *хлоридно-натриевые, кислые сульфатные и хлоридно-сульфатные термы*. Хлоридно-натриевые воды Мутновского вулкана (Дачный участок), Кальдеры Узон, вулканов Менделеева, Баранского и Эбеко считаются водами корневого потока этих систем. Именно хлоридно-натриевые воды рассматривались ранее как воды магматического происхождения. Полагалось, что присутствие хлора, лития, рубидия цезия, фтора, бора и других элементов в высокотемпературных гидротермальных системах является индикатором их магматогенного происхождения. Исследования последних лет, включая работы автора, доказали, что в основе этих систем лежит вода метеорного происхождения. Экспериментальные и изотопные данные свидетельствуют о том, что содержания большинства растворенных компонентов в гидротермальном растворе контролируются реакцией взаимодействия вода-порода. Следовательно, о "глубинности" можно говорить только для газовой фазы, которая отделяется от магматического очага и по мере подъема может смешиваться с инфильтрационными водами. Приповерхностная зона вулканов (верхние 1000 метров) является важной областью, так как здесь проходят многие физические и химические процессы. Именно здесь неоднородность и проницаемость пород достаточно высока. Подходя к этой зоне, горячий флюид (с нейтральной или щелочной реакцией) растекается в более проницаемых породах по латерали, формируя основной резервуар хлоридно-натриевых вод. При подъеме к поверхности, в результате сброса давления и температуры происходит вскипание флюида и разделение его на жидкую и паровую фазы. Это наблюдается на Мутновском месторождении парогидротерм, Баранском вулкане и др. Дальнейшее развитие процесса зависит от "внешних" геолого-гидрогеологических факторов, в частности от уровня грунтовых вод, проницаемости пород, обилия осадков и др. Окисление сероводорода фумарольных газов поверхностными водами приводит к формированию кислых и ультракислых сульфатных вод. Масштабы этих проявлений зависят от степени водообильности участка и носят сезонный характер. На периферии термальных полей, где доля грунтовых вод возрастает, формируются воды с преобладанием гидрокарбонат-иона. Воды, как правило, нейтральные или слабощелочные. Примерами периферийных вод служат Войновские, Вилючинские термы Камчатки, а также Столбовские и Рейдовские проявления Курильских островов. Показательны в этом плане Войновские и Вилючинские воды. Более сульфатные воды (Войновские) располагаются ближе к Мутновскому вулкану, а более гидрокарбонатные (Вилючинские) - дальше. Подобная классическая зональность вод, наблюдаемая в Кальдере Узон, на вулканах Мутновский, Менделеева, Эбеко, Баранского и др. характерна для большинства островодужных вулканов (Япония, Новая Зеландия, Филиппины и др.).

Дальневосточный Геологический Институт Российской Академии Наук

690022, Владивосток-22, пр-кт 100-летия Владивостоку, 159

Факс: (7 - 4232) 317847

Тел.: (7 - 4232) 318750

URL: <http://www.fegi.ru>

E-mail:

office@fegi.ru - ученый секретарь ДВГИ ДВО РАН Н.А.Чепкая

director@fegi.ru - директор ДВГИ, член-корреспондент РАН А.И.Ханчук