

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАМИРА НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХОДЖА-ОБИ-ГАРМ (ТАДЖИКИСТАН)**А.Ю. Демонова, А.И.Сардоров, А.В.Корзун***Научный руководитель профессор Н.А. Харитонова**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

В данной статье рассмотрены особенности химического состава термальных вод месторождения Ходжи-Оби-Гарм, с основным акцентом на содержание в них микрокомпонентов, а также редкоземельных элементов (РЗЭ). Комплексные исследования геологических, гидрогеологических и гидрогеохимических особенностей месторождения позволили выявить источники и формы миграции исследуемых микрокомпонентов. Актуальность работы вызвана не только научным, но и практическим интересом, так как осуществление прогноза изменения химического состава изучаемых термальных вод позволит обеспечить рациональную эксплуатацию данного месторождения, а также провести доразведку и расширение минеральной базы действующего курорта.

Месторождение минеральных вод Ходжи-Оби-Гарм находится в 60 км к северу от г. Душанбе столицы Республики Таджикистан. Курорт находится на высоте +1740-1960 метров над уровнем моря в верховьях р. Ходжа-Оби-Гарм левого притока р. Варзоб. В плане площадь месторождения приурочена к тектонической зоне по которой происходит восходящее движение термальной воды и формируется область растекания.

В геолого-структурном отношении месторождение Ходжа-Оби-Гарм расположено на северном крыле Ходжа-Оби-Гармской грабен-синклинали. В геологическом строении принимают участие, в основном, интрузивные породы южной части Северо-Варзобского интрузивного массива, представленные гранитами, гранодиоритами, гранит-порфирами среднего и нижнего карбона. Интрузии перекрыты чехлом четвертичных отложений. В юго-западной части района палеозойские образования перекрыты нижнемеловыми осадками (песчаниками и глинами).

Гидрогеологические условия месторождения сложные и определяются геолого-структурными особенностями участка. По условиям залегания и циркуляции – это трещинно-жильные термальные воды, которые приурочены к мощной зоне дробления гранитов, связанной с Ходжа-Оби-Гармским разломом.

Питание трещинно-жильных вод – вероятнее всего инфильтрационное, чему благоприятствует значительная раздробленность гранитов. Область питания термальных вод находится на водоразделе. В процессе фильтрации по разломам воды прогреваются, изменяют свой химический состав и разгружаются в рыхлые четвертичные отложения формируя месторождение.

Поровые воды четвертичных отложений распространены по долине р. Варзоб и по левобережью р. Ходжа-Оби-Гарм. Водовмещающими породами являются галечник, песок и конгломераты. Водообильность этих отложений незначительная: обычно дебит родников колеблется в пределах 0,05-1,00 л/сек. По химическому составу поровые воды гидрокарбонатные-кальциево-натриевые с минерализацией от 0,140 до 0,490 г/дм³. Описываемые подземные воды используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения курорта Ходжа-Оби-Гарм.

Поскольку предыдущие исследования химического состава термальных вод месторождения Ходжи-Оби-Гарм проводились более полувека назад, был выполнен полный химический анализ всех проб воды на 52 элемента на новейшем аналитическом оборудовании. Основные катионы и анионы определялись методом жидкостной ионной хроматографии (HPLC-10 AVp, SHIMADZU). Концентрации микрокомпонентов и рассеянных элементов измерялись с использованием плазменно-оптической эмиссионной спектроскопии (ICP-AES, Plasmaquant-110) и индуктивной плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS, Agilent 7500c). Точность определения всех компонентов была лучше, чем 5% RSD. Расчёт индексов насыщения минералов и форм миграции макро и микрокомпонентов, а также РЗЭ проведено с использованием программных комплексов AQUACHEM 5.1, WATERQ4F и PHREEQC.

Минеральные воды месторождения Ходжа-Оби-Гарм по химическому составу относятся к хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатным натриево-кремнистым. Практически во всех скважинах среди анионов превалирует HCO_3^- (CO_3^{2-}) ион, в некоторых скважинах SO_4^{2-} . Основным катионом является Na^+ содержание которого доходит до 100 мг/л, в то время как содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ , как правило, низки. Концентрация радона составляет 22 нКи/л (814 Бк/л). Помимо карбонатных ионов (HCO_3^- и CO_3^{2-}) в достаточно высоких количествах присутствуют хлор (до 55 мг/л) и сульфат-ион (до 40 мг/л). Борная кислота (H_3BO_3) – 6 мг/л. Исследуемые термы богаты фтором, концентрации которого достигают 18 мг/л. Отношение Cl/F составляет 3,18. Вода источников месторождения Ходжи-Оби-Гарм характеризуется большим содержанием кремниевой кислоты (85,6 - 147 мг/л), в среднем составляет около 140 мг/л. Содержание углекислоты свободной (CO_2) от 2 до 6 мг/л, а сероводорода (H_2S) – 3,54 мг/л. Расчет форм нахождения основных ионов в растворе показал, что катионы до 99% находятся в ионной форме.

Нами были получены новые данные по микрокомпонентному составу термальных вод месторождения. Среди сидерофильной группы элементов значимые концентрации в водах имеют только железо (68,8-139,6 мкг/л), марганец (1,18-7,04 мкг/л), кобальт (0,013-0,039 мкг/л), никель (0,07-0,44 мкг/л). Среди халькофильных элементов особого внимания заслуживают такие элементы как медь (0,4-2,2 мкг/л), цинк (0,8-2,3 мкг/л), галлий (3,9-7,2 мкг/л), мышьяк (4,6-5,34 мкг/л), селен (0,04-0,199 мкг/л), серебро (0,002-0,068 мкг/л), кадмий (0,029-0,047 мкг/л) и свинец (0,12-5,49 мкг/л).

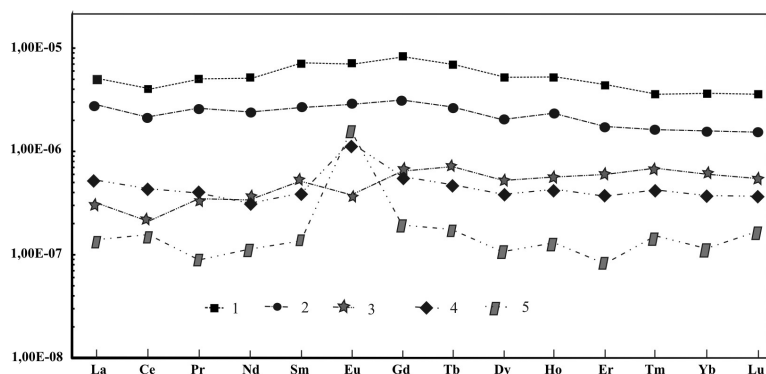


Рис. Нормализованные графики распределения РЗЭ азотных термальных вод некоторых месторождений Евразии. 1 – скв. 7, месторождение Ходжи-Оби-Гарм; 2 – скв. 16, месторождение Ходжи-Оби-Гарм; 3 – азотные термы Сихотэ-Алиня [1]; 4 – месторождение Карымишина. Камчатка [2]; 5 – геотермы Верхней Паратунки, Камчатка [2].

Среди литофильных элементов очень высокие концентрации обнаружены для лития (0,9–1,03 мг/л), рубидия (107,3–122,6 мкг/л), стронция (151,7–169,2 мкг/л), цезия (204–231 мкг/л) и алюминия (0,48–126,5 мкг/л). Концентрации марганца (1,18–7,04 мкг/л), а ванадия, хрома и бария очень низкие и не превышают единичных значений в мкг/л. Содержание бора невелико и составляет 0,31–0,34 мг/л. Соотношение В/Сl составляет всего 0,006, что практически в четыре раза ниже, чем бор-хлорное отношение в морской воде где оно равно $2,4 \cdot 10^4$, практически на порядок ниже чем в углекислых водах Памира и почти совпадает с показателем В/Сl (0,04–0,007) в термальных источниках областей активного вулканизма. Соотношение Сl/Вг равно 257 и очень близко по значению к морским водам (293). Соотношение Li:Rb:Cs составляет 100:12:23 что несколько выше чем в термальных водах Камчатки Li:Rb:Cs=100:9:10.

Известно, что основной контроль содержания РЗЭ в воде осуществляет рН раствора, именно щелочные значения рН приводят к уменьшению количества РЗЭ. Полученные значения РЗЭ в термальных водах месторождения подтверждают это наблюдение: концентрации РЗЭ в целом низкие и не превышают 1 мкг/л. Основная часть РЗЭ представлена легкими РЗЭ, в процентном соотношении они составляют более 80%. Нормализованные спектры распределения РЗЭ представленные на рисунке довольно гладкие, с небольшим подъемом в области средних РЗЭ. Во всех изученных азотных термальных водах присутствует отчетливо выраженная отрицательная цериевая аномалия ($Сe/Ce^*$ варьирует от -0,1 до -0,96), которая позволяет предположить окисление церия (+3) до церия (+4) в данном типе вод.

Расчет индексов насыщения минеральных фаз при различных температурах (40–250 °С) показал, что глубинные термальные воды, имеющие температуру 145–193 °С недонасыщены, по отношению к кварцу и его модификациям, а также ко всем карбонатам. Однако, при подъеме вод к поверхности земли происходит их остывание, температура и давление водного флюида падают, и начинают отлагаться вторичные минеральные фазы (кварц и его модификации). Равновесие флюида по отношению к кальциту (или слабое пересыщение) наблюдается только в диапазоне температур 165–230 °С.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что термальные воды Ходжа-Оби-Гарм по своему генезису являются метеорными (атмосферными) водами, а по условиям залегания трещинно-жилевыми водами, циркулирующими в пределах массивных интрузий и локализованных в пределах зоны альпийской складчатости. Характерной чертой термальных вод месторождения Ходжи-Оби-Гарм является их высокая температура (89,5–93 °С) и высокая щелочность 8,98–9,18, исключительно низкая общая минерализация, которая составляет 300–400 мг/л.

Литература

1. Брагин И.В., Челноков Г.А., Чудаев О.В., Харитоновна Н.А. Особенности взаимодействия вода-порода при формировании месторождений термальных вод Сихотэ-Алиня. Материалы II Всероссийск. научн. конф. с международным участием “Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами”, Дальнаука Владивосток, 2015. – С. 96 – 100.
2. Чудаев О.В., Челноков Г.А., Брагин И.В., Харитоновна Н.А., Рычагов С.Н., Нуждаев А.А., Нуждаев И.А. Геохимические особенности распределения основных и редкоземельных элементов в Паратунской и Большебанной Гидротермальных Системах Камчатки. Тихоокеанская геология, 35(6), 2016. – С. 102 – 119.