НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИКРОЭЛЕМЕНТНОМУ И ИЗТОПНОМУ СОСТАВУ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТАДЖИКИСТАНА

Киреева Т.А.¹, Салихов Ф.С.², Бычков А.Ю.¹, Харитонов Н.А.¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: ta_kireeva@mail.ru;

²Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, Душанбе, Таджикистан, e-mail: ffaarriidd@mail.ru.

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены геологические условия локализации и химический состав вод некоторых термальных источников Памира и предгорий Тянь-Шаня: Гарм-Чашма, Фируза-МГУ, Тандыкуль, Обигарм, Ходжаобигарм. Приводятся данные анализа микрокомпонентного состава вод источников, впервые полученные методом ICP-MS. Рассмотрены значения отношений В/Сl и В/Br, а также и соотношения Li:Rb:Cs, по величине которых можно судить о генезисе воды. Расчет палеотемпературы формирования вод, полученный по методу Na-K геотермометра, показал значения от 136 до 240 °C, что указывает на глубинные условия формирования вод источников. Впервые полученные данные о содержании $\delta^{18}\text{O}$ и δD свидетельствуют, что изученные термальные воды, скорее всего, являются метеорными.

1. ВВЕДЕНИЕ

В Центральном Таджикистане, Памире и Тянь-Шане выходы термальных вод достаточно многочисленны и приурочены к различным породам – магматическим, метаморфическим и осадочным. Большинство источников расположено в глубоких долинах рек. Преимущественное распространение имеют углекислые воды, среди которых в виде локальных участков разгряжаются азотные термы.

Холодные углекислые воды неглубокой циркуляции, как правило, связаны с второстепенными, мелкими разломами. Теплые и горячие углекислые воды связаны с крупными разломами глубокого заложения. Несмотря на то, что они приурочены и к осадочным, и метаморфическим породам, химический состав их примерно одинаков: они содового типа гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые. Наиболее известным и крупным источником (групповые выходы вод) до последнего времени являлось месторождение углекислых вод Гарм–Чашма, расположенное в юго-западной части Памира, на западном склоне Шах-Дарьинского хребта [2]. Источник Фируза–МГУ, открытый летом 2015 г. превосходит его по величине [6].

Среди азотных терм наиболее известно месторождение азотных терм – Обигарм. Воды этого источника хлоридно-сульфатно-кальциево-натриевые [3]. К этому же типу сульфатных терм относятся воды источников Тандыкуль и Ходжаобигарм [3].

По водам термальных источников Таджикистана выполнен значительный объем определения состава макрокомпонентов и содержания растворенных газов, однако их микрокомпонентный состав оставался практически неизученным, что связано как с недостаточной ана-

литической базой, так и расположением многих источников в труднодоступной горной местности, затрудняющее отбор проб. Поэтому основной задачей исследования являлось изучение содержания микроэлементов в водах известных термальных источников Таджикистана и недавно открытого углекислого источника Фируза–МГУ.

Также в работе приводятся первые сведения о содержании кислорода-18 и дейтерия в четырех источниках – Гарм-Чашма, Ходжаобигарм, Обигарм и Тандыкуль.

Подобный анализ, который позволяет уточнить условия формирования вод источников, имеет не только научное, но и важное практическое значение, т.к. минеральные воды являются основой функционирования санаторно-курортного комплекса Таджикистана, заводов и цехов разлива вод. Новые данные позволят более полно использовать имеющиеся минерально-сырьевые ресурсы термальных вод.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Источник минерализованных вод Фируза-МГУ расположен на Северном Памире, в долине р. Баландкиик, на левом борту р. Джайловкумсай, в месте слияния ее с рекой Баландкиик, на высоте 3925 м [6]. Источник представляет собой выход слабоминерализованных вод в аллювиальных отложениях (переотложенные моренные образования) левого борта поймы р. Джайловкумсай. Температура источника невысока (+14°C), дебит 7 л/сек. Изливающаяся из устья источника вода веерообразно растекается по широкой дуге системой неглубоких, ступенчатых бассейнов

Горячий источник Гарм-Чашма расположен в юго-западной части Памира, на западном

склоне Шах-Дарьинского хребта в среднем течении реки Гарм-Чашма, являющейся притоком реки Пяндж, на абсолютной отметке – 2800 метров над уровнем моря. По условиям залегания минеральные воды источника являются типичными трещинно-жильными водами и приурочены к зонам трещиноватости, сопровождающим крупные тектонические нарушения разрывного характера [2]. Водовмещающими породами являются кристаллические и метаморфические породы (гнейсы, мрамора и мигматиты) докембрийского возраста, которые перекрыты неравномерным чехлом современных делювиальных и аллювиальных отложений [2]. Питание трещинно-жильных вод участка осуществляется в основном за счет инфильтрации талых вод ледников, снежников и атмосферных осадков. Вода выходит в виде фонтанирующих грифонов, расположенных по гребню образованной ими травертиновой горки высотой 7-8 метров и длиной до 1500 метров. Суммарный дебит источников колеблется от 5,0 до 6,0-7,0 л/с. Особенностью этого источника является высокая температура изливающейся воды (до +66°C), что не характерно для большинства углекислых вод. Источники бурно газируют, выделяя CO_2 и H_2S . Содержание растворенного сероводорода в воде до 170 мг/л, CO_2 – до 400-500 мг/л у выхода на поверхность.

Месторождение термальных вод Тандыкуль расположено в 25 км к север-северо-западу от райцентра Джиргиталь, в верховье долины на левом борту р. Тамдыкуль, на высоте 2198 м в горном массиве Тянь-Шань. Воды источника кремнистые (содержание кремнекислоты до 173 мг/л), высокотермальные (температура выхода 75–88°C), гидрокарбонатно-сульфатно-натриевые, с минерализацией около 0,8 г/л [5].

Месторождение термальных вод Ходжаобигарм находится на правом берегу р. Варзоб в 50 км к северу от г. Душанбе, на высоте 1780-1870 м. На месторождении зафиксировано 60 источников с суммарным дебитом 7,3 л/с и температурой на выходе 62-93°C. Воды источников Ходжаобигарм радоновые (радоны до 234 эман/л), кремнистые (содержание кремнекислоты до 221 мг/л), высокотермальные, сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые с минерализацией 0,5-0,6 г/л [5]. В этом месторождении сложная сеть термовыводящих трещинных зон гранитного массива выходит на поверхность в верхней части крутых эрозионных врезов, формируя «висячие» барьерные очаги разгрузки [3], обусловленные

наличием тектонических экранов на пути продвижения термальных вод к поверхности.

Месторождение термальных вод Обигарм находится на правом борту р. Обигарм в 100 км к востоку от г. Душанбе, на высоте 1300-1400 м. Термы месторождения кремнистые (содержание кремнекислоты до 56 мг/л), хлоридно-сульфатно-кальциево-натриевые, с минерализацией 0,5-1,1 г/л и температурой выхода 40-52°C [5]. Термальные минеральные воды месторождения Обигарм выходят по системе субвертикальных трещин в гранитах палеозойского возраста и разгружаются в водоносный горизонт, сложенный валунно-галечными отложениями четвертичного возраста, мощностью от 28 до 144 м. Таким образом, по [3] воды месторождения характеризуются скрытыми очагами разгрузки: термовыводящие трещинные зоны перекрыты толщей рыхлых отложений.

Пробы вод источников отбирались во время летних полевых работ 2015–2016 гг. Ф.С. Салиховым.

Анализ химического состава вод источников был выполнен на кафедрах гидрогеологии и геохимии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Определение содержания макрокомпонентов ($(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^-) проводилось методами объемного титрования по стандартным методикам. Определение микрокомпонентного состава выполнено методом ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения с ионизацией в индуктивно-связанной плазме ELEMENT2 на кафедре геохимии. Пределы обнаружения элементов при использовании данного метода составляют 0,01 мкг/л. Изотопный анализ кислорода и водорода воды ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) выполнен в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН, в лаборатории стабильных изотопов. Подготовка проб воды для изотопного анализа проведена стандартным методом высокотемпературного пиролиза воды на углероде. Для определения изотопных отношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и D/H в образцах воды использовали высокотемпературный конвертер TC/EA (ThermoQuest, Bremen, Germany) соединенный с изотопным масс-спектрометром MAT 253 (ThermoQuest, Bremen, Germany), работающий в режиме непрерывного потока гелия. Ввод образцов воды (0,5-1 мкл) в реактор термоконвертера производился в автоматическом режиме с использованием автосемплера Combi PAL. Погрешность определения δD и $\delta^{18}\text{O}$ (1σ) составляла 0,8‰ и 0,2‰ ($n=5$) соответственно. Измерения изотопных отношений

проведены относительно лабораторного стандарта, калиброванного по международным стандартам. Результаты измерений $\square D$ и $\delta^{18}O$ даны в отношении к международному стандарту VSMOW.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

По содержанию макрокомпонентов и формуле ионного состава воды исследованных источников разделились на две группы (здесь и далее содержание макрокомпонентов приводится в экв.-%): гидрокарбонатные (содержание $HCO_3^- > 50$) – Гарм–Чашма и Фируза–МГУ и сульфатно-углекислые (содержание $HCO_3^- < 50$, содержание $SO_4^{2-} > 20$) – Тандыкуль, Обигарм, Ходжаобигарм. Углекислые воды располагаются в горах Памира, а сульфатно-углекислые приурочены к отрогам горного массива Тянь-Шань. Сульфатно-гидрокарбонатные воды имеют очень малую минерализацию, изменяющуюся в пределах 0,3–0,7 г/л. Значения pH слабощелочные: 7,2 и 7,8 в источниках Обигарм и Тандыкуль соответственно, и щелочные (8,5) в источнике Ходжаобигарм. В сульфатно-углекислых водах из катионов резко преобладает Na^+ , составляя 91–97. На втором месте оказывается Ca^{2+} или Mg^{2+} , содержание которых изменяется соответственно в пределах 1–6 и 2–3. В анионном составе содержания SO_4^{2-} , Cl^- и HCO_3^- подвержены существенным колебаниям: 22–59, 19–37 и 4–46 соответственно. Углекислые воды маломинерализованные: 1,1 и 2, 71 г/л в водах источников Фируза–МГУ и Гарм–Чашма соответственно. Значения pH слабокислые: 6,7–6,8. В этих водах преобладающим катионом является Ca^{2+} (источник Фируза–МГУ) или Na^+ (источник Гарм–Чашма), содержание которых составляет 54 и 67–85 соответственно. На последнем месте оказывается Mg^{+2} , содержание которого составляет 3–11.

Изучение микроэлементного состава показало, что по содержанию As (в пределах 0,56–4,92 мкг/л) воды источников достаточно близки между собой, и его количество обычно для углекислых вод. Исключение составляет полное отсутствие As в водах источника Фируза–МГУ. Содержания металлов (Zn, Cu, Mn, Mo, Fe, Pb) во всех исследованных источниках близки между собой и значительно ниже, чем в грунтовых водах. Содержание U в водах источника Фируза–МГУ максимально и составляет 2,4 мкг/л, что близко к значению для вод затрудненного водообмена. В водах остальных источ-

ников U содержится на 1–2 порядка меньше. Содержание кремниевой кислоты в водах источников близки, изменяясь в пределах 50–75 мг/л, что примерно соответствует содержанию этого соединения в минеральных водах Кавказа. Содержания Ba и Sr (мкг/л) в источниках достаточно близки между собой (Ba – n10; Sr – n100), а отношение Sr:Ba значительно выше, чем в глинистых породах, и близко к значениям для пластовых рассолов. Последнее, вероятно отражает преимущественное накопление в водах соединений стронция, чем бария, т.к. они значительно более растворимы. В водах всех исследованных источников отмечается повышенное содержание бора (до 8110 мкг/л), а расчет отношений B/Bг и B/Cl показал, что по величине этих коэффициентов воды источников близки к аналогичным показателям для глубинных гидротерм [4]. Соотношения концентраций Li:Rb:Cs в водах источников Фируза–МГУ, Тамдыкуль и Обигарм аналогичны значениям для наиболее высокотемпературных хлоридно-натриевых терм Камчатки [1], что может указывать на формирование вод в высокотемпературных условиях. В источниках Гарм–Чашма и Ходжаобигарм отмечается отклонение от этой зависимости: в водах первого – в сторону пониженного содержания Li, а второго – в сторону повышенного содержания Cs.

Изучение изотопного состава ($\delta^{18}O$ и δD) термальных вод из четырех источников: Ходжаобигарм, Обигарм, Тандыкуль и Гарм–Чашма показало, что изотопный состав всех источников довольно близок и лежит в диапазоне значений от -12,6 до 15,3‰ для $\delta^{18}O$ и - 83,2 – -113‰ для δD . Наиболее легкий изотопный состав отмечен для источника Гарм–Чашма. Подобны изотопный состав может быть связан с метеорным происхождением вод, а также изотопным обменом в системе вода – порода – углекислый газ, при значительном превышении газовой фазы над водной (облегчение изотопного состава $\delta^{18}O$).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Расчет значений палеотемператур формирования вод источников существенно гидрокарбонатного состава, выполненный методом Na–K геотермометра [7], показал высокие значения (°C): 136,2; 147,2; 239,6 для источников Фируза–МГУ, Ходжаобигарм и Гарм–Чашма соответственно. Таким образом, величины палеотемператур формирования вод источников подтверждают предположения о их глубинном за-

ложении, основанные на высоких отношениях В/Br, а также характерных соотношениях Li:Rb:Cs. Расчет приблизительной глубины формирования вод источников Фируза – МГУ, Гарм-Чашма и Ходжаобигарм дал значения (км): 3,9; 6,9; 4,2 соответственно. Изотопный состав исследованных термальных вод показывает, что наиболее вероятным источником этих терм являются метеорные (атмосферные) воды региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсанова Г.И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей. – Новосибирск: Наука. 1974. – 110 с.
2. Дислер В.Н. Углекислые воды Тань-Шаня и Памира // Вопросы гидрогеологии минеральных вод. – М.: Труды НИИ курортологии и физиотерапии. Т. XXXIV. 1977. – С. 144-161.
3. Елманова Н.М. Основные типы месторождений азотных терм гранитных массивов // Вопросы гидрогеологии минеральных вод. – М.: Труды НИИ курортологии и физиотерапии. Т. XXXIV. 1977. – С. 144-161.
4. Киреева Т.А. Гидрогеохимические особенности инверсионных вод, в связи с нефтеносностью глубоких горизонтов осадочного чехла. // Тезисы доклада. 2-я Всероссийская научная конференция с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». – Владивосток. 6–11 сентября 2015.
5. Разыков Б.Х. Экономическая оценка и промышленное использование минеральных вод Таджикистана. Душанбе: Дониш, 2007. – 88 с.
6. Салихов Ф.С. Минеральный источник в долине р. Баландкиик (Северный Памир) // ДАН РТ, 2015. – Т. 58, №4. – С. 338-42.
7. Таран Ю.А. Геохимия геотермальных газов. – М.: Наука. 1988. – 168 с.

NEW DATA ON MICROELEMENT AND ISOTOPE COMPOSITION OF THERMAL SPRINGS IN TAJIKISTAN

Kireeva T.A.¹, Salikhov F.S.², Bychkov A.Yu.¹, Kharitonova N.A.¹

¹Moscow State University Lomonosov Moscow, Russia, e-mail: ta_kireeva@mail.ru

²Branch of Moscow State University. M.V. Lomonosov in Dushanbe, Dushanbe, Tajikistan, e-mail: ffaarriidd@mail.ru

ABSTRACT This article provides detailed information about the geological setting and the chemical composition of some thermal springs (Garm-Chashma, Firuza-MGU, Tandykul, Obigarm, Khojaobigarm) located within the Pamirs and the Tien Shan mountain systems. This is the first report describing the micro components data for investigated springs obtained by the ICP-MS method. The calculated ratios of B/Cl, B/Br and Li:Rb:Cs allow to define the genesis of the studied thermal springs. New data on the contents of $\delta^{18}\text{O}$ and δD indicate that the studied thermal waters are most likely meteoric, while a slight drift from the meteoric water line is the result of isotope fractionation in water-rock-gas processes. The estimated subsurface temperatures for these thermal waters vary from 136 °C to 240 °C based on the K/Na geothermometer.