УДК 551.234; 556.314

***А. Ю. Демонова^1, И. В. Брагин^2, Н. А. Харитонова^3, Тарасенко И.А. ^4***

**ХИМИЧЕСКИЙ И минеральный СОСТАВ ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ХОДЖА-ОБИ-ГАРМ (ПАМИРО-АЛАЙСКАЯ ГОРНАЯ СИСТЕМА)**

**Аннотация.** В статье приведены новые данные комплексного исследования водовмещающих пород месторождения термальных вод Ходжа-Оби-гарм (Памиро-Алайская горная система, Таджикистан). Впервые для данного района были проведены исследования минералогического и химического состава горных пород с применением новейшего аналитического оборудования. Проведенные исследования позволили выявить основные факторы формирования геохимического облика минеральных вод в системе вода-порода.

**Ключевые слова:** термальные воды, гидрогеологические условия, гидрогеохимия, микрокомпоненты, Таджикистан.

**Об авторах:**

*^1Ведущий инженер, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, г. Москва, danna1985@yandex.ru.*

*^2 К.г.-м.н., старший научный сотрудник, ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток, bragin\_ivan@mail.ru.*

*^3 Д.г.-м.н., Доцент, Профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, г. Москва. Главный научный сотрудник, ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток,* [*tchenat@mail.ru*](mailto:tchenat@mail.ru)*.*

*^4Д.г.-м.н., Зам.директора по науке, ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток, tarasenko\_irina@mail.ru.*

**Введение**

В настоящее время на территории Таджикистана выявлено свыше 125 месторождений источников термальных минеральных вод различного химического состава, на базе которых функционирует санаторно-курортный комплекс страны [4]. Водовмещающие породы многих месторождения представлены водоносными пористыми или трещиноватыми толщами. К таким месторождениям относится одноименный курорт Ходжа-Оби-Гарм. Курорт расположен в 48 км к северу от г. Душанбе в южных отрогах Гиссарского хребта на высоте +1740-1960 метров над уровнем моря.

В административном отношении описываемый район относится к Варзобскому району. В орографическом отношении район исследования представляет собой высокогорную, сильно расчлененную область, характеризующиеся резкими колебаниями высотных отметок. Максимальные абсолютные отметки расположены в северо-западной части района (до 4076 м), а минимальные приходятся на долину р. Варзоб в восточной части района и составляют 1390-1400 м. В плане площадь месторождения приурочена к тектонической зоне по которой происходит восходящее движение термальных вод и формируется область растекания [1,3,4].

Основной целью данной работы является комплексное исследование водовмещающих пород месторождения термальных вод Ходжа-Оби-Гарм (Памиро-Алайская горная система, Таджикистан) которое в дальнейшем позволит выявить источники поступления химических элементов в низкоминерализованные воды месторождения и провести детальную реконструкцию физико-химических условий его формирования.

Строение месторождения в геологическом и гидрогеологическом плане сложное [1,3]. Полевые работы, проведенные на месторождении во время полевого сезона 2017 г., позволили собрать уникальную коллекцию водовмещающих пород месторождения Ходжа-Оби-Гарм, которые были детально изучены как «рутинными» методами (световая микрокопия, силикатный анализ и т.д.), так и с применением новейшего оборудования (рентгенофазовый анализ, сканирующая микроскопия, микрозондовый анализ и т.д.). Полученные уникальные данные о минеральном и химическом составе водовмещающих пород позволили значительно расширить понимание источников поступления в данные термальные воды как основных компонентов, так и многих микроэлементов (Sr, Ba, Rb, Cs и др.).

**1. Геолого-гидрогеологические условия месторождения**

В геологическом строении района принимают участие магматические породы южной части Северо-Варзобского интрузивного массива, представленные гранитами, гранодиоритами, гранит-порфирами среднего и нижнего карбона. Интрузии перекрыты чехлом аллювиально-пролювиальных, аллювиальных, пролювиальных и делювиальных четвертичных отложений. В юго-западной части района палеозойские образования перекрыты нижнемеловыми осадками (песчаниками и глинами). В течение всего четвертичного периода и до настоящей времени описываемой район является областью сноса и поэтому процессы осадконакопления играют здесь весьма незначительную роль. В результате этого осадки четвертичного возраста на территории района имеют крайне ограниченное распространение и приурочены, как правило, к наиболее пониженным участкам рельефа ‒ главным образом к речным долинам (рис. 1) [1,3].

C:\A_Demonova\MSU\Ходжа-Оби-Гарм\Мои Статьи\Предыдущие этапы_статьи\20.12.2016\Гидрогеологическая карта_2.tif

**Рис.1. Гидрогеологическая схематизация района исследований, где 1-поровые воды в аллювиальных и пролювиальных четвертичных отложениях; 2- водоносный комплекс нижнемеловых отложений; 3- водоносный комплекс в эффузивной толще верхнего и среднего отделов каменноугольной системы; 4- водоносный комплекс интрузивных отложений нижнего и среднего отделов каменноугольной системы; 5- участок расположения минеральных вод месторождения Ходжа-Оби-Гарм; 6-границы распространения водоносных комплексов; 7- зона Ходжа-Оби-Гармского разлома; 8- линия тектонических нарушений [3]**

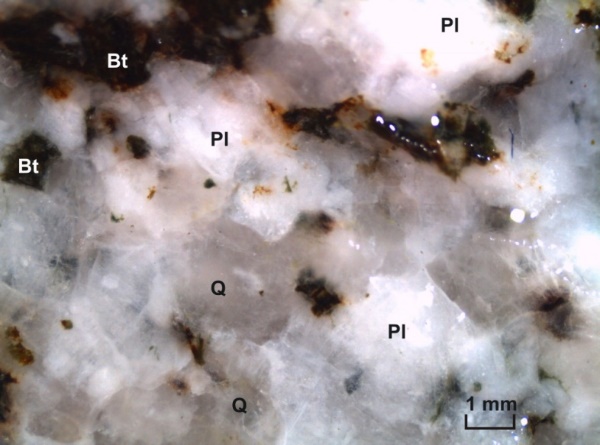
В тектоническом отношении участок термоминеральных вод относится в целом к окраине северной части Ходжа-Оби-Гармской зоны разрывного нарушения, по которому происходило перемещение блоков. Разрывное нарушение имеет почти широтное простирание и располагается вдоль основания левого склона реки Ходжа-Оби-Гарм. В рельефе зона Ходжа-Оби-Гармского разлома прекрасно выделяется своей отрицательной формой, а в обнаженных местах ‒ белой и буровато-серой окраски. Большинство исследователей (С.К. Овчиников, Е.Н. Перецкая и др.) относят этот разлом к типу надвигов, другие (А. Шванц и др.) – к взбросу или взбросу-надвигу [1,3].

На территории описываемого района в силу изменчивости литологического состава и сложности тектонических условий нельзя установить выдержаны ли региональные водоносные пласты, имеют ли они гидравлическую поверхность и связаны ли они гидродинамически между собой. Поэтому на прилагаемой гидрогеологической толще выделены не водоносные горизонты, а водоносные комплексы (рис. 1) [1,3].

Термальные воды месторождения Ходжа-Оби-Гарм относятся к трещинно-жильным водам гранитов средне-нижнекаменноугольного возраста. Наиболее интенсивная трещиноватость гранитов фиксируется в зоне главного разлома и оперяющих его трещин. С удалением от зоны разлома граниты становятся более монолитными. Трещины разбивают граниты на отдельные блоки различной конфигурации и размеров. Основные направление падения трещин – северо-восточное и северное. Углы падения изменяются от 550 до 80-85о. Ширина трещин достигает иногда до 5 мм, причем, ближе к зоне разлома отмечаются преимущественно открытые трещины, а с удалением ‒ закрытые. Водообильность трещиноватых гранитов на площади месторождения распределяется неравномерно. Максимальные расходы трещинно-жильных вод получены скважинами, вскрывшими основной очаг разгрузки. Остальными скважинами вскрыто лишь незначительное количество термальных вод, не имеющих практического значения. 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 [1,3].

**2. Методы исследований**

В ходе исследований в 2017 году были отобраны образцы водовмещающих пород из отвалов в пределах месторождения (рис. 2). Были выполнены классический химический, спектральный, рентгенофазовый и электронный микрозондовый химический анализы (Jeol, JXA-8100).

**Рис. 2. Водовмещающие породы азотных термальных вод месторождения Ходжа-Оби-Гарм. Общий вид. Массивная текстура плагиогранита (слева). Минеральный состав. Биотит (Bt) – кварц (Q) – полевошпатовая (Pl) ассоциация в плагиограните (справа)**

Макрофотографии пород выполнялись с помощью цифровой фотокамеры Nikon, а петрографические исследования, микроскопические описания и микрофотографии — с помощью стереоскопического микроскопа Leica-E, оснащенного цифровой фотокамерой. Наблюдения проводились в отраженном и проходящем свете. Часть микрофотографий выполнена в иммерсии. Все образцы исследовались на содержание карбонатного материала с помощью соляной кислоты.

Определение содержания главных элементов в образцах было выполнено методом атомно-эмиссионной спектрометрии на спектрометре iCAP 7600 Duo ([Thermo Scientific](http://www.speciation.net/Appl/Companies/company.html?id=20), США) и методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Techn., США).

**3. Результаты исследований**

Детальное минералогическое и петрографическое исследование образцов горных пород показало, что водовмещающие породы представлены, главным образом, щелочнополевошпатовыми гранитами, плагиогранитами и гранодиоритами.

Основными минералами щелочнополевошпатовых гранитов являются калиевый полевой шпат (90-95 мас.%), плагиоклаз (до 10 мас.%), кварц ( 25-35 мас.%) и биотит (3-10 мас.%). В качестве вторичного минерала диагностированы незначительные выделения карбоната. КПШ – ортоклаз с небольшим содержанием натрия (до 0,36 мас.%) и бария (до 0,75 мас.% BaO). Плагиоклазы являются практически чистыми альбитами с незначительной примесью кальциевой компоненты (не более 1,5 мас.% СаО). Иногда содержат изоморфную примесь калия (до 0,3 мас.%).

В качестве акцессорных минералов часто диагностируются ортит (Ca, Ce, La, Y)2(Al, Fe)3(SiO4)3(OH), торит (ThSiO4), апатит, циркон, сфен.

Плагиогранит сложен КПШ (40-45 мас.%), плагиоклазом (40-45 мас.%), кварцем (до 40 мас.%), биотитом (до 10 мас.%). Очень часто наблюдаются вторичные карбонаты, представленные практически чистым кальцитом, иногда с небольшой примесью железа. Используя микрозондовый анализ удалось диагностировать большое количество зерен карбонатов, концентрирующих РЗЭ и иттрий. Вторичные железистые выделения представлены лепидокрокитом.

Основными минералами гранодиорита являются КПШ (до 60 мас.%), плагиоклаз (до 60 мас.%), кварц ( 20-25 мас.%) и биотит (до 10 мас.%). Карбонаты и гидрооокислы железа встречаются в незначительных количествах и являются вторичными минералами.

Макрокомпонентный химический состав водовмещающих пород представлен в таблице 1. Полученные результаты свидетельствуют, что водовмещающие породы месторождения значительно обеднены натрием по сравнению с калием. Натрий не образует самостоятельных минеральных фаз, а входит в структуру калиевого полевого шпата или калиево-натриевого полевого шпата. В целом, водовмещающие породы являются щелочными, значение Na2О+K2О варьирует от 7,19 до 8,7 мас.%.

Таблица 1

**Химический состав водовмещающих пород месторождения Ходжа-Оби-Гарм**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № образца | Макрокомпоненты, мас.% | | | | | | | | | | |
| SiO2 | TiО2 | Al2О3 | Fe2О3 общ | MnО | MgО | CaО | Na2О | K2О | P2О5 | Н2О- |
| 1 | 66,23 | 0,43 | 14,81 | 2,63 | 0,05 | 0,18 | 3,63 | 2,63 | 5,73 | 0,12 | 0,21 |
| 2 | 73,01 | 0,29 | 13,51 | 2,45 | 0,02 | 0,67 | 0,88 | 2,46 | 5,76 | 0,09 | 0,07 |
| 3 | 68,61 | 0,47 | 14,14 | 3,97 | 0,06 | 1,33 | 2,07 | 2,79 | 4,73 | 0,20 | 0,20 |
| 4 | 65,42 | 0,54 | 14,65 | 4,36 | 0,06 | 1,47 | 2,86 | 2,94 | 4,79 | 0,15 | 0,08 |

Содержание кальция в породах также невелико и не превышает 3,63 мас.%. Скорее всего низкое содержание кальция в породе связано с полным отсутствием первичных кальцийсодержащих минералов. Были обнаружены только незначительные выделения вторичного карбоната, скорее всего гидротермально образованного, который заполняет трещины в породах.

Проведенные исследования также выявили повышенные содержания в водовмещающих породах месторождения фосфора и фтора. Основным фтор-содержащим минералом является апатит, который часто диагностируется в виде удлиненных зерен в основной массе породы.

Несмотря на многолетние исследования, вопрос об источниках фтора в термальных водах до сих пор остается спорным, хотя в настоящее время подавляющее большинство исследователей склоняются к поступлению фтора из вмещающих пород [2]. Полученные нами данные показывают, что водовмещающие породы Ходжа-Оби-Гарма содержат многочисленные вкрапления фтор-содержащих минералов, представленных главным образом аппатитом и, иногда, сфеном. Кроме того, наблюдается положительная корреляция содержаний фтора с содержанием SiO2 и температурой.

Микроэлементный состав пород представлен в таблице 2. Анализ полученных концентраций элементов показывает, что породы обогащены рубидием (116-159 мг/кг), стронцием (150-280 мг/кг), цирконием (134-330 мг/кг) и барием (511-1378 мг/кг). Кроме того, выявлены повышенные содержания тория (до 92 мг/кг) и урана (до 20 мг/кг).

Таблица 2

**Содержание микроэлементов в породах месторождения Ходжа-Оби-Гарм**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Микроэлементы, мас.% | Образец №1 | Образец №2 | Образец №3 | Образец №4 |
| Be | 3,057 | 1,57 | 4,25 | 2,315 |
| Sc | 16,93 | 12,97 | 20,2 | 18,03 |
| V | 18,09 | 23,52 | 41,6 | 40,3 |
| Cr | 11,05 | 17,36 | 32,95 | 27,64 |
| Co | 2,158 | 4,189 | 7,141 | 6,784 |
| Ni | 5,763 | 8,966 | 12,51 | 12,7 |
| Cu | 13,883 | 6,510 | 10,650 | 9,480 |
| Zn | 24,72 | 31,22 | 57,39 | 59,32 |
| Ga | 21,13 | 15,14 | 18,57 | 19,86 |
| As | 2,269 | 1,179 | 2,575 | 1,347 |
| Rb | 158,8 | 137 | 141 | 116,3 |
| Sr | 150,50 | 270,40 | 216,20 | 280,00 |
| Zr | 329,9 | 176,6 | 180,5 | 134 |
| Nb | 12,1 | 5,923 | 14,11 | 7,422 |
| Mo | 0,744 | 0,2563 | 0,606 | 0,366 |
| Cd | 0,2667 | 0,1359 | 0,1547 | 0,1056 |
| Sn | 3,227 | 2,554 | 10,1 | 4,679 |
| Cs | 7,215 | 2,0113 | 7,9575 | 5,465 |
| Ba | 511,2 | 1099 | 648,7 | 1378 |
| Hf | 11 | 6,287 | 5,903 | 4,963 |
| Ta | 1,167 | 0,5949 | 1,701 | 0,6168 |
| W | 2,656 | 0,8504 | 1,543 | 1,614 |
| Pb | 14,34 | 18,94 | 22,48 | 14,41 |
| Th | 69,6 | 92,49 | 61,83 | 10,6 |
| U | 12,02 | 20,57 | 9,088 | 2,31 |

По химическому составу термальные воды месторождения Ходжа-Оби-Гарм относятся к маломинерализованным (до 450 мг/л) хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатным натриево-кремнистым водам [3]. Воды обогащены фтором (до 18 мг/л), литием (до 1,03 мкг/л), рубидием (до 123 мкг/л), стронцием (до 170 мкг/л), цезием (около 205-230 мкг/л), галлием (7,2 мкг/д), свинцом (до 5,5 мкг/л), мышьяком (до 5,7 мкг/л) и радоном (до 815 Бк/л).

По условиям формирования изученные термальные воды принадлежат к трещинно-жильными водам, циркулирующим в пределах массивных интрузий, локализованных в пределах зоны альпийской складчатости. Естественные выходы данных азотных терм контролируются, прежде всего, тектоническими разрывами. Обнаруженные выходы вод тяготеют к крупному региональному разлому (Ходжа-Оби-Гармский разлом) [3]. По-видимому, сложная сеть тектонической трещиноватости которая характерна для данных водовмещающих гранитных (гранитоидных) пород является важнейшим фактором, определяющим накопление низкоминерализованных вод на глубине и их последующий выход на поверхность. При этом только «открытые» и, соответственно, более водопроницаемые новейшие тектонические разломы создают предпосылки для быстрого подъема с больших глубин и выхода на земную поверхность высокотермальных вод.

При движении из глубин (около 4,5-6 км) к поверхности термальные воды интенсивно взаимодействуют с водовмещающими породами и растворяют их. Во время данного процесса происходит интенсивное выщелачивание многих микрокомпонентов (La, Rb, Sr, Zr, Ba, Li и др.) и концентрирование их в водах.

Преимущественно натриевый состав вод определяется интенсивным растворением альбита, в то время как КПШ реагируют с раствором незначительно. Высокое содержание кремния в растворе обусловлено его поступлением при растворении плигиоклазов. Рассчитанные индексы насыщения кварца показывают, что термальный раствор недосыщен по отношению к данному минералу в температурном диапазоне 220-160 оС, что соответствует истинным температурам циркуляции данных вод.

**Заключение**

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что термальные воды месторождения Ходжа-Оби-Гарм по химическому составу формировались в основном в процессе растворения и выщелачивания горных пород.

**Библиографический список**

1. Баратов Р.Б. Геология и петрография района термальных источников Ходжа-Оби-Гарм. Отчет Ходжа-Оби-Гармской геологической партии по работам 1946 г. Душанбе, 1946.
2. Брагин И. В., Челноков Г. А., Чудаев О. В., Харитонова Н. А. Особенности взаимодействия вода-порода при формировании месторождений термальных вод Сихотэ-Алиня: Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием “Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами”. - Владивосток, 2015. – C. 96 – 100.
3. Демонова А.Ю., Харитонова Н.А., Корзун А.В., Сардоров А.И., Челноков Г.А. Химический состав азотных термальных вод бальнеоклиматического курорта Ходжа-Оби-Гарм (Таджикистан) // Вестн. Моск.ун-та. Сер.4. Геология. 2017. – № 5. – С. 77 – 84.
4. Разыков Б.Х. Особенности размещения и экономическая оценка минеральных вод Таджикистана. - Душанбе.: Дониш, 2007. ─ 99 с.

**A.Y. Demonova, I.V. Bragin, N.A. Kharitonova**

**Geochemical composition of water-converting rocks of the field of thermal water Khoja-Obi-Garm (Pamir-Alay Mountain System)**

**Abstract.** В статье приведены новые данные комплексного исследования водовмещающих пород месторождения термальных вод Ходжа-Оби-Гарм (Памиро-Алайская горная система, Таджикистан). В первые для данного района были проведены исследования минералогического и химического состава горных пород с применением новейшего аналитического оборудования. Проведенные исследования позволили выявить основные факторы формирования геохимического облика минеральных вод в системе вода-порода.

The article presents new data of a complex study of water-bearing rocks of the field of thermal waters Khoja-Obi-Garm (Pamir-Alai Mountain System, Tajikistan). In the first for this area, mineralogical and chemical rock composition studies were researched out using the latest analytical equipment. The carried out researches have allowed to reveal the basic factors of formation of a geochemical image of mineral waters in system water-breed.

**Keywords:** thermal waters, hydrogeological setting, hydrogeochemistry, microcomponents, Tadjikistan.