

Литература

1. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.:Недра, 1978.
2. [Электронный ресурс] <http://www.skhdvtinhphuc.gov.vn/Index.aspx?mnl=95&dieu-kien-tu-nhien.html> . Сайт администрация провинции Виньфук.
3. [Электронный ресурс]: Природные условия провинции Намдинь. Ссылка <http://www.chinhphu.vn/portal/page/portal/chinhphu/cactinhvathanhpho/tinhhanam/thongtintinhthanh?view=introductio n&provinceld=1349>. Сайт администрация провинции Намдинь.
4. [Электронный ресурс]. Обобщенная информация о провинции Нгеан. Ссылка: <http://vinhcity.gov.vn/?group=63/dieu-kien-tu-nhien>. Сайт администрация провинции Нгеан.
5. QCVN 09:2008/BTNMT. Национальный технический регламент о качестве подземных вод. Утвержден постановлением Министерством природных ресурсов и окружающей среды от 31 декабря 2008г. № 16/2008/QĐ-BTNMT г. Ханой.
6. СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. Москва, 2003.
7. QCVN 01:2009/BYT. Национальный технический регламент о качестве питьевых вод. Утвержден постановлением Министерством здравоохранения от 2009г. № 04/2009/ТТ – ВУТ г. Ханой.

ОЦЕНКА ГЛУБИННЫХ ТЕМПЕРАТУР ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИРОДНОГО КОМПЛЕКСА ЧОЙГАН (ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

А.В. Шестакова

Научный руководитель доцент А.А. Хващевская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Температурный режим является одной из важнейших характеристик водного резервуара. При характеристике потенциальных геотермальных ресурсов глубинные температуры дают возможность оценить тепловое состояние недр и перспективность использования гидротермальных систем. Температура подземных вод на глубине устанавливается за счет воздействия глубинного теплоносителя на циркулирующие подземные воды в верхних горизонтах коры [5].

В Восточных Саянах находится одно из уникальных для Сибири месторождений углекислых холодных и термальных вод – природный комплекс «Чойганские минеральные воды», расположенный на западном склоне Восточных Саян с отметками 1550 м на северо-востоке Тувы недалеко от границы с Бурятией. Подземные воды, которые проявляются на поверхности в виде многочисленных родников, имеют температуру на выходе от 7 до 39 °С, однако температуры вод на глубине их формирования могут быть значительно выше. Термальные источники представляют собой гидротермальную систему, принадлежащую к Байкальской рифтовой зоне, которая образуется в результате нагрева подземных вод региональным тепловым полем в процессе их глубинной циркуляции, и связана с областями развития молодого вулканизма, контролируемая крупным структурным тектоническим элементом земной коры – глубинным разломом [1].

До настоящего времени изучением гидротермальной системы Восточного Саяна занимались Голубев В.А. (1982), Кононов В.И. (1982), Рассказов С.В. (1993), Лысак С.В. (1996), Рычкова К.М. (2009), Плюснин А.М. (2007) и др. Изучением глубинных температур, в том числе некоторых родников Чойгана, занимались Бадминов П.С., Оргильянов А.И., Ганчимэг Д. (2011).

Целью данной работы является получение информации о тепловом состоянии гидросферы для определения условий формирования подземных вод природного комплекса Чойган.

Исследование подземных вод Чойгана было проведено летом 2013 г. при выполнении комплексных научных исследований физико-химических и гидрохимических характеристик вод источников. В долине реки Аржаан-Хем опробовано 33 родника для определения макро- и микрокомпонентов, водорастворенных газов и уровня радона. Аналитические исследования вещественного состава вод выполнены в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода» ИПР ТПУ. На основе полученных данных производилась оценка температур источников на глубине формирования вод с помощью геохимических геотермометров. Для этого использовались кремниевый и катионный геотермометры. В методике использовались данные о химическом составе подземных вод, которая основана на выражении экспериментально установленной зависимости концентрации кремнезема и ряда щелочных металлов в гидротермах от температуры. Это позволяет по концентрациям компонента вод оценить температуру на глубине формирования гидротерм, исходя из равновесия в системе "вода—порода—газ" и отсутствии значительного растворения или осаждения данного компонента по пути миграции из зоны нагрева к выходу источника на земную поверхность. На определенном уровне концентрации кремнезема и щелочных металлов, термальные воды достаточно продолжительное время могут сохранять эту концентрацию при охлаждении [1,2].

Расчет глубинных температур по кремниевому геотермометру производился по формуле Фурнье-Трусдела, соответствующий эмпирической кривой растворимости халцедона и применяемой для низкотемпературных и малобетных источников: $t_{\text{форм}} = 1051,1 / (4,655 - \lg \text{SiO}_2) - 273$, где содержание SiO_2 выражено в мг/л [2].

Также для сравнения результатов по соотношениям концентраций щелочных металлов был произведен расчет по катионному геотермометру: $t_{\text{форм}} = 1647 / (\lg(\text{Na}/\text{K}) + \beta \lg(\text{Ca}1/2/\text{Na}) + 2,24) - 273$, где Na, K, Ca – концентрации ионов соответствующих элементов, моль/л, β – константа, зависящая от стехиометрических

коэффициентов реакции и равная $\frac{3}{4}$ при $t < 100$ °С и $Ca^{1/2}/Na > 1$ [2]. Определение глубины формирования гидротерм производилось по формуле: $h_{\text{форм.}} = t_{\text{форм.}} \text{ по } SiO_2 / \gamma$, где $\gamma = 30,5$ °С/км – средний геотермический градиент региона, принятый по литературным данным для Байкальского региона [1].

В пределах исследуемой территории широкое распространение получили метаморфические породы докембрия, которые представлены гнейсами, мраморами и сланцами, прорванные интрузиями кислого состава – гранитами и диоритами палеозойского возраста. Водовмещающие породы представлены верхнепротерозойским комплексом сайлыгской свиты, сложенной мраморами, слоистыми, мраморизованными известняками с прослоями сланцев, кварцитов, конгломератов, и прорванной девонскими интрузиями гранитов бреньского комплекса [4].

Исходя из анализа гидрогеологических и гидрогеохимических особенностей проявления подземных вод Чойгана в пределах рассматриваемой территории можно выделить углекислые трещинно-жильных воды восстановительной геохимической обстановки, углекислые трещинно-жильных воды окислительной геохимической обстановки и грунтовые воды региональной трещиноватости [3].

Результаты расчетов глубинных температур формирования рассматриваемых подземных вод представлены в таблице. По кремниевому геотермометру температура формирования вод в среднем составляет 77 °С для вод зоны восстановительной обстановки, в подземных водах окислительной обстановки температура воды ниже и равна 53 °С. При этом рассчитанная средняя глубина формирования подземных вод составляет 2,1 км. Температура формирования, определенная по катионному геотермометру, оказалась выше, чем по кремниевому. Для вод зоны восстановительной обстановки средняя температура – 153 °С, в водах зоны окислительной обстановки температура также ниже – 126 °С. Согласно катионному геотермометру средняя глубина формирования находится на уровне 4,6 км.

Значения температур и глубин формирования, полученные по этим геотермометрам, отличаются друг от друга почти в 2 раза, однако в распределении наблюдается общий тренд (Рис.). Отклонение точек от линии тренда можно объяснить смещением восходящих гидротерм с поступающими поверхностными холодными водами. Различия результатов геотермометров могут быть связаны с вторичными процессами, влияющих на растворение кальция во время восхода термальных вод. Низкие значения глубинных температур, полученные по SiO_2 -геотермометру и их отличие от температур катионного геотермометра, связаны с разбавлением восходящих гидротерм холодными инфильтрационными водами, а также влиянием углекислоты. На сравнительно низкие температуры формирования гидротерм также указывает присутствие травертинов на территории Чойгана, толщи которых образуются в результате дегазации растворенного углекислого газа при разгрузке углекислых подземных вод [2].

Таблица

Средние прогнозные температуры и глубины формирования подземных вод по кремниевому и катионному геотермометрам для природного комплекса Чойган

| Температура а воды на выходе | Содержание | | | | Глубинная температура формирования вод | | Глубина формирования вод | |
|--|------------|------|-----|------------------|---|------------|-----------------------------|------------|
| | Na | K | Ca | SiO ₂ | по SiO ₂ | по Na-K-Ca | по SiO ₂ | по Na-K-Ca |
| °С | мг/л | | | | °С | | км | |
| Углекислые трещинно-жильные воды восстановительной обстановки | | | | | | | | |
| 28,1 | 290,4 | 44,6 | 222 | 45,5 | 77,3 | 153,2 | 2,5 | 5,0 |
| Углекислые трещинно-жильные воды окислительной обстановки | | | | | | | | |
| 16,7 | 123,5 | 19,3 | 188 | 28,4 | 52,8 | 125,6 | 1,7 | 4,1 |

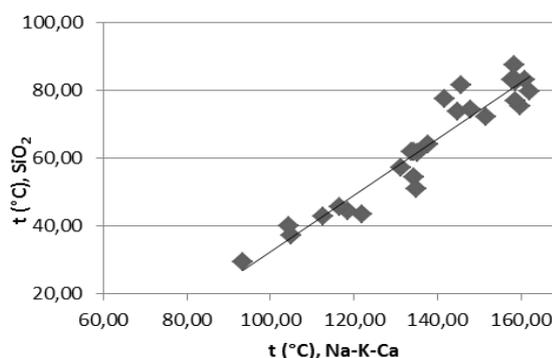


Рис. График связи прогнозных глубинных температур гидротерм Чойгана, рассчитанные по SiO_2 и Na-K-Ca геотермометрам

Таким образом, температура формирования подземных вод, рассчитанная по катионному геотермометру, на глубине 4,6 км составляет 140 °С. Глубинная температура вод по кремниевому геотермометру в среднем находится на уровне 65 °С, при этом глубина формирования – 2,1 км. Это позволяет, на основе полученных данных о химическом и газовом составе подземных вод, представить концептуальную модель образования и эволюции гидротерм природного комплекса Чойган.

Литература

1. Бадминов П.С., Ганчимэг Д., Оргильянов А.И., Крюкова И.Г., Оюунцэцэг Д. Оценка глубинных температур термальных источников Хангая и Восточного Саяна с помощью гидрохимических геотермометров // Вестник БГУ. Химия, физика, 2011. – Вып. 3. – С. 90 – 94.
2. Бадминов П.С., Иванов А.В., Писарский Б.И., Оргильянов А.И. Окинская гидротермальная система (Восточный Саян) // Вулканология и сейсмология, 2013. – № 4. – С. 27 – 39.
3. Копылова Ю.Г., Гусева Н.В., Аракчаа К.Д., Хвощевская А.А. Геохимия углекислых вод природного комплекса Чойган (западный склон Восточных Саян, северо-восток Тувы) // Геология и геофизика, 2014. – № 11. – С. 1635-1648.
4. Пиннекер Е.В. Минеральные воды Тувы. – Кызыл: Тувинское книжное издательство, 1968. – 105 с.
5. Elder J.W. Terrestrial heat flow // Geophys. Monogr. – Baltimore, 1965. – №8. – 150 с.