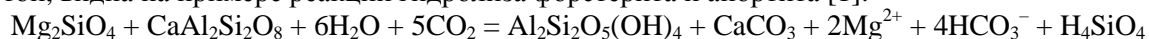


Источником кремния в термах являются водовмещающие алюмосиликатные породы, господствующие на территории БРЗ. Их растворение происходит с разложением воды. Первоначально при взаимодействии воды с первичными минералами образуется выщелоченный поверхностный слой, в котором катионы замещаются на ион водорода [11]. Уже на этой стадии возможно изотопное фракционирование водорода. Но основное разложение воды происходит при гидролизе алюмосиликатов, продуктами которого являются образующиеся вторичные минералы. На самом начальном этапе – это гидроксиды алюминия (гиббсит), которые сменяются каолинитом, затем монтмориллонитами и т.д. Возможность фракционирования изотопов воды, как и связь его с переходящей в раствор кремнекислотой, видна на примере реакции гидролиза форстерита и анортита [1]:



Таким образом, полученные данные по изотопному составу воды изученных термальных источников не расходятся с выводом о ее метеогенном происхождении, но в то же время корреляция изотопных отношений с концентрациями растворенной кремнекислоты дает основание предполагать возможность фракционирования изотопов и кислорода, и водорода в процессе взаимодействия воды с вмещающими породами.

Литература

1. Селецкий Ю.Б., Поляков В.А., Якубовский А.В., Исаев Н.В. Дейтерий и кислород-18 в подземных водах (масс-спектрометрические исследования). – М.: Недра, 1973. – 144 с.
2. Ферронский В.И., Дубинчук В.Т., Поляков В.А. и др. Природные изотопы гидросферы. – М.: Недра, 1975. – 280 с.
3. Craig H. Isotopic variation in meteoric waters // Science. – 1961. – V.133. – P. 1702-1703.
4. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: Наука, 1974. – 168 с.
5. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах / отв. ред. Е.В. Пиннекер. – Новосибирск: Наука, 1982. – 240 с.
6. Диденков Ю.Н., Бычинский В.А., Ломоносов И.С. О возможности существования эндогенного источника пресных вод в рифтовых геодинамических условиях // Геология и геофизика. – 2006. – Т.47, №10. – С. 1114-1118.
7. Плюснин А.М., Чернявский М.К., Перязева Е.Г., Звонцов И.В. Ресурсы, химический и изотопный состав азотных термальных вод Байкальского рифта // Кайнозойский континентальный рифтогенез: материалы симп., посвящ. памяти Н.А. Логачева. – Иркутск, 2010. – Т.2. – С. 32-36.
8. Замана Л.В., Аскарлов Ш.А. Фтор в азотных термах Баунтовской группы (Северное Забайкалье) // Вестник Бурятского гос. ун-та. Сер. Химия. Физика. Вып. 3. – 2010. – С. 8-12.
9. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 216 с.
10. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Химический и изотопный ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $\text{D}/^1\text{H}$) состав грунтовых вод Центрального и Южного Приморья // Тихоокеанская геология. – Т.27, №6. – С. 57-64.
11. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т.1 / отв. ред. С.Л. Шварцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2005. – 244 с.

Замана Леонид Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, зам. директора, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, l.v.zamana@mail.ru
 Zamana Leonid Vasilievich, candidate of geology and mineralogy, deputy director, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita.

УДК 550.42

ОЦЕНКА ГЛУБИННЫХ ТЕМПЕРАТУР ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ХАНГАЯ И ВОСТОЧНОГО САЯНА С ПОМОЩЬЮ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ГЕОТЕРМОМЕТРОВ

П.С. Бадминов, Д. Ганчимэг, А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, Д. Оюунцэцэг

Проведено газово-геохимическое и температурное опробование более 20 термальных источников Хангая и Восточного Саяна с целью получения сведений о тепловом состоянии гидросферы и использования геотермальной энергии.

Ключевые слова: термальные источники, геотермометры, геотермальная энергия.

EVALUATION OF THERMAL SPRINGS OF KHANGAI AND EASTERN SAYAN
DEPTH TEMPERATURE USING HYDROCHEMICAL GEOTHERMOMETERS

P.S. Badminov, D. Ganchimeg, A.I. Orgilyanov, I.K. Krukova, D. Oyuntsetseg

Gas-geochemical and temperature tests of more than 20 thermal springs were carried out in Khangai and Eastern Sayan in order to obtain the data on thermal state of hydrosphere and use of geothermal energy.

Keywords: thermal springs, geothermometer, geothermal energy.

Использование теплового потенциала гидротерм как экологически чистого и практически неиссякаемого источника для нужд энергетики и коммунального хозяйства широко распространено в мировой практике, особенно в таких странах, как Исландия, Япония и Новая Зеландия. Низкотемпературные воды (до 100°C) находят применение в промышленности, бальнеологии, сельском и коммунальном хозяйстве. Термальные воды с температурой выше 100°C используются для выработки электроэнергии. Термальные источники Хангая и Восточного Саяна имеют температуру на поверхности до 90°C, однако их глубинные температуры могут быть значительно выше. Глубинными называются температуры гидротерм на глубине их формирования, характеризующие уровень, на котором глубинный теплоноситель оказывает воздействие на циркулирующие в верхних горизонтах коры подземные воды [1]. Термальные источники Хангая и Восточного Саяна представляют собой гидротермальные системы, заключенные в рамках отдельных геологических структур, формирующиеся либо при нагревании вод в региональном тепловом поле в результате их глубокой циркуляции, либо при дополнительном поступлении в водоносные горизонты глубинного тепла, приносимого магмой или надкритическим флюидом [2]. Глубинные температуры, как геотермический параметр, позволяют оценить термальное состояние недр и перспективность использования гидротермальных систем.

Фактический материал и методика исследования

В период 1998-2010 гг. нами проведено газово-геохимическое и температурное опробование более 20 термальных источников Хангая и Восточного Саяна с целью получения сведений о тепловом состоянии гидросферы. Опробование включало в себя отбор проб воды на макро- и микрокомпоненты, газовый состав и измерение температуры воды. Пробы на микрокомпоненты отфильтровывались через фильтры и подкислялись азотной кислотой. Определение их химического состава производилось методом ICP-MS в Институте геохимии СО РАН. Определение макрокомпонентов Na, K, Ca, Mg, HCO₃, SO₄, Cl и других проводили по стандартным методикам, анализ газа методом газовой хроматографии в гидрохимической лаборатории Института земной коры СО РАН. Измерения температуры воды проводились электронными и ртутными термометрами с погрешностью измерения 0,1-0,3°C. Температурные замеры не всегда позволяют определить причины наблюдаемых термоаномалий и влияние экзогенных и эндогенных факторов. Оценить их роль можно, привлекая данные о температурных условиях на глубине формирования термальных вод.

Наиболее точные представления о глубинных температурах дают замеры в глубоких скважинах, однако такими сведениями мы не располагаем. Для оценки глубинных температур применена методика, использующая данные о химическом составе гидротерм. Теоретически и экспериментально установлена зависимость концентрации кремнезема и соотношения ряда щелочных металлов от температуры термальных источников, позволяющая по концентрации того или иного компонента оценить температуру на глубине формирования гидротерм, исходя из предположения о равновесии в системе «вода-порода-газ» и отсутствии значительного осаждения или растворения данного компонента по пути миграции из зоны нагрева к выходу источника на дневную поверхность [3-6]. Достигнув определенного уровня по концентрации кремнезема и щелочных металлов, термальные воды достаточно длительное время сохраняют эту концентрацию при охлаждении гидротерм. Это явилось основой для создания кремниевого и катионных геотермометров. Кремниевый геотермометр с успехом применялся на Камчатке [7] и в других районах мира [8, 9]. Однако растворимость кремнезема зависит кроме температуры и от других факторов, в частности, от формы кремнезема и содержания в водах углекислоты. Роль углекислотного выщелачивания в области высоких температур снижается, а в области низких температур этот процесс играет значительную роль. Дислер [3] рассмотрел поведение различных форм кремния как в жидкой воде, так и в виде минералов при различных P-T условиях. Им выполнена типизация термальных вод по составу и температуре, отраженная кривыми регрессии, причем для каждой линии расчет температур ведется с учетом форм кремнистых соединений. Фурнье,

Роу и Трусделл [10, 11] предложили аналитическое выражение этих кривых в виде формул для аморфного кремнезема, β-кристобалита, α-кристобалита, халцедона, кварца при адиабатическом и кондуктивном охлаждении. Глубинные температуры по кремниевому геотермометру рассчитаны по формуле Фурнье-Трусделла, соответствующей кривой растворимости халцедона и применяемой для низкотемпературных ($t_{повех} < t_{кип}$) и малодобитных систем:

$$t_{форм.} = 1051,1 / (4,655 - \lg SiO_2) - 273, \text{ где содержание } SiO_2 \text{ выражено в мг/л.}$$

Эта формула является наиболее подходящей для гидротермальных систем Хангая и Восточного Саяна, так как температура термальных источников не выше температуры кипения, дебиты не столь значительны, а в геологическом разрезе установлено присутствие халцедона. Для сравнения нами рассчитаны глубинные температуры по соотношениям концентраций щелочных металлов в водном растворе Na-Li, Mg-Li, Na-K, Na-K-Ca (катионные геотермометры) [5, 6, 12]. Наиболее надежным оказался Na-K-Ca-геотермометр, менее чувствительный к процессам смешения термальных вод с метеорными, так как в расчетной формуле используются не абсолютные величины химических элементов, а их соотношения:

$$t_{форм} = 1647 / (\lg(Na/K) + \beta \lg(Ca^{1/2}/Na) + 2,24) - 273, \text{ где Na, K, Ca - концентрации ионов соответствующих элементов, моль/л, } \beta - \text{ константа, зависящая от стехиометрических коэффициентов реакции и равная } 3/4 \text{ при } t < 100^\circ C \text{ и } Ca^{1/2}/Na > 1.$$

Глубина формирования гидротерм определяется по соотношению:

$$h_{форм.} = t_{форм} \text{ по } SiO_2 / \gamma, \text{ где } \gamma = 25^\circ C / \text{км} - \text{ средний геотермический градиент региона.}$$

Значение геотермического градиента принято с учетом теплопроводности магматических и метаморфических пород в горных районах Южной Сибири.

Результаты и их обсуждение

Значения температур, полученные по этим геотермометрам, при сравнении оказываются близкими (табл. 1).

Таблица 1

Прогнозные температуры глубинных вод по кремниевому и катионному геотермометрам для минеральных источников Восточного Саяна и Хангая

№	Источник	T _{пов.} , °C	H ₄ SiO ₄ , мг/дм ³	t _{форм.} , °C по SiO ₂	t _{форм.} , °C по Na-K-Ca	h _{форм.} = t _{форм.} по SiO ₂ /γ
Гидротермальная система Восточного Саяна						
1	Халун-Угун	27.5	22.0	28.1	54.1	1.12
2	Хойто-Гол	35.0	160.0	126.6	135.6	5.06
3	Даргал	34.5	180.0	134.1	141.0	5.3
4	Шутхулай	4.0	65.0	75.1	88.9	3.0
5	Дунду-Гол	9.5	26.0	34.5	104.0	1.38
6	Красные Камни	7.0-9.0	44.0	56.6	87.4	2.26
7	Чойган	38.5	54.0	66.0	151.2	2.64
8	Торпа	5.0	17.0	18.7	57.1	0.75
9	Соруг	8.0	40.0	52.4	110.0	2.09
Среднее		-	-	65.8	103.2	2.62
Гидротермальная система Хангая						
1	Шивэрт	57.0	145.5	120.8	139.0	4.83
2	Хуйтэн-Аршан	12.5	131.07	114.1	100.0	4.56
3	Цэнхэр	84.0	178.57	134.4	123.0	5.37
4	Бор тал	52.0	98.05	97.0	98.0	3.88
5	Гялгар	52.0	121.95	109.8	105.0	4.39
6	Цаган-Сум	69.1	133.0	115.1	101.0	4.61
7	Могод	57.0	104.0	100.4	-	4.01
8	Чулуут	45.2	100.0	98.1	131.0	3.93
9	Ноен-Хангай	36.4	130.0	113.7	86.0	4.55
10	Шаргалжут	88.0	154.0	124.5	110.0	4.98
11	Хужирт	47.0	144.0	120.1	123.0	4.80
12	Хурэмт	55.5	133.0	115.1	109.0	4.61
Среднее		-	-	113.6	111.4	4.54

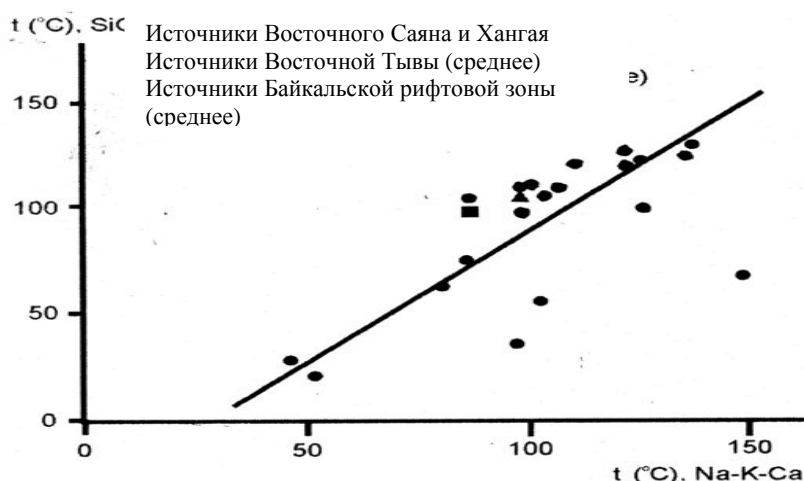


Рис. График связи прогнозных глубинных температур t ($^{\circ}\text{C}$), SiO_2 по t ($^{\circ}\text{C}$) Na-K-Ca

Различия в среднем по геотермальным системам не превышают 35°C . Кроме того, разность $\Delta t = t_{\text{форм.}}^{\circ}\text{C}$ по $\text{SiO}_2 - t_{\text{форм.}}^{\circ}\text{C}$ по Na-K-Ca имеет, как правило, один и тот же знак. Отклонения фигуративных точек от общего тренда можно объяснить смещением восходящих гидротерм с близлежащими холодными водами и сильным влиянием углекислоты в диапазоне низких температур (рис.). Возможно, это отражает установившееся равновесие в системе «вода-порода-газ». Однако имеются и существенные различия, в первую очередь они связаны с геологическим строением территорий. В Восточном Саяне широко распространены карбонатные породы, тогда как в Хангае их практически нет. Отсюда различия в газовом и химическом составе гидротерм. Гидротермальная система Хангая представлена азотными водами сульфатно- гидрокарбонатного натриевого состава, а гидротермы Восточного Саяна являются уже углекисло-азотными гидрокарбонатными смешанного анионного состава.

Как отмечалось ранее, наличие углекислоты оказывает существенное влияние на точность расчетов, особенно в диапазоне низких температур, поэтому разброс значений по гидротермальной системе Восточного Саяна выше, чем по гидротермам Хангая. Глубины формирования гидротерм также имеют различия. Если гидротермальная система Хангая имеет глубину формирования термальных вод в диапазоне 5-6 км, то гидротермы Восточного Саяна формируются в более широком диапазоне 0,75-5,0 км. Пространственное совпадение гидротермальных систем с районами проявления молодого вулканизма свидетельствует об их возможной связи с единым источником тепла, а именно аномальный разогрев корового субстрата связан с подлитосферными плюмоподобными аномалиями [13]. В Восточном Саяне вулканический след термоаномалии смещен в сторону Тывы, поэтому и глубины формирования гидротерм находятся в более широком диапазоне.

Оценка глубинных температур гидротерм с помощью гидрохимических геотермометров показывает перспективность гидротермальных систем Хангая и Восточного Саяна для использования геотермальной энергии.

Литература

1. Elder J.W. Terrestrial heat flow // *Geophys. Monogr.* – Baltimore. – 1965. – №8. – 150 с.
2. Кононов В.И. Геохимия термальных вод областей современного вулканизма. – М.: Наука, 1983. – 215 с.
3. Дислер В.Н. Происхождение и практическое использование кремнистых пород. – М.: Наука, 1987. – С. 128-140.
4. Fouillac C., Michard G. Sodium/Litium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs // *Geochemics.* – 1981. – V.10. – P. 55-57.
5. Fournier R.O., Truesdell A.H. An empirical Na-K-Ca chemical geothermometr for natural waters // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1973. – V.37. – P. 1255-1275.
6. Kharaka Y.K., Mariner R.N. Thermal History of Sedimentary Basins, Methods and Case Histories. NY: Spring.-Verlag, 1989. – P. 99-117.
7. Ильин В.А., Кононов В.И., Поляк Б.Г., Козловцева С.В. Оценка глубинных температур с помощью гидрохимических показателей // *Геохимия.* – 1979. – №6. – С. 888-901.
8. Hamza V.M., Eston S.M. Assessment of geothermal resources of Brazil // *Zb. geol. palaeontol.* – 1983. – T.1. – P. 717-728.
9. Swanberg C.A., Morgan P. The linear relation between temperatures based on the silica content of groundwater and regional heat flow: a new heat flow map of the United States // *Pure and Appl. Geophys.* 1980. – V.117. – P. 227-241.

10. Fournier R.O. Rowe J.J. Amer. Mineralogist. – 1962. – V.47, №7. – P. 122-125.
 11. Truesdell A.H. Geochemical techniques in exploration. – Proc. Soc. United. Nat. Sumpos. Develop. and Use of Geotherm. Res. San Francisco. California. USA. – 1976. – V.1.
 12. Fournier R.O. Potter R.W. A magnesium correction for the Na-K-Ca geothermometer // Geochim. Et Cosm. Asta. – 1979. – V.43. – P.1543-1550.
 13. Рассказов С.В. Сопоставление вулканизма и новейших структур горячих пятен Йеллоустоуна и Восточного Саяна // Геология и геофизика. – 1994. – №10. – С. 67-75.

Бадминов Прокопий Сократович, ведущий инженер, лаборатория гидрогеологии и охраны подземных вод, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, т. 89025139137

Ганчимэг Дармаа, кандидат геолого-минералогических наук (PhD), старший научный сотрудник, лаборатория гидрохимии и минералогии, Институт химии и химических технологий АН Монголии, 210351, Улаанбаатар, пр. Мира, Монголия, ganchimegdm@yahoo.com

Оргильянов Алексей Июльевич, главный специалист, лаборатория гидрогеологии и охраны подземных вод, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Крюкова Ирина Георгиевна, ведущий инженер, лаборатории гидрогеологии и охраны подземных вод, Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, irig@crust.irk.ru

Оюунцэцэг Долгоржав, магистр (Mc.S), научный сотрудник, лаборатория гидрохимии и минералогии, Институт химии и химических технологий АН Монголии, 210351, Улаанбаатар, пр. Мира, Монголия

Badminov Prokopyi Sokratovich, leading engineer, laboratory of hydrogeology and protection of groundwater, Institute of Earth's Crust SB RAS.

Ganchimeg Darmaa, candidate of geology and mineralogy, (PhD), senior researcher, laboratory of hydrochemistry and mineralogy, Institute of Chemistry and Chemical Technologies MAS. Mongolia, 210351, Ulaanbaatar, Mir ave.

Orgilyanov Alexey Iul'evich, chief specialist, laboratory of hydrogeology and protection of groundwater, Institute of Earth's Crust SB RAS.

Krukova Irina Georgievna, leading engineer, laboratory of hydrogeology and protection of groundwater, Institute of Earth's Crust SB RAS.

Oyuntsetseg Dolgorzhav, master (McS), researcher, laboratory of hydrochemistry and mineralogy, Institute of Chemistry and Chemical Technologies MAS. Mongolia, 210351, Ulaanbaatar, Mir ave.

УДК 577.151.01

БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТУРЫ Um-09m

А.А. Раднагуруева, Е.В. Лаврентьева, Б.Б. Намсараев, Я.Е. Дунаевский

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №10-04-90798_моб_ст, №10-04-93169_Монг_а, МО РФ РНП 2.1.1/2165, программы "Фундаментальные исследования и высшее образование" (НОЦ-017 "Байкал")

Изучена биохимическая характеристика культуры Um-09m. Показано, что культура обладает высокой субтилизиноподобной активностью. Протеаза стабильна в широком диапазоне температур от 23 до 60°C и pH от 7,52 до 11,41.

Ключевые слова: щелочные гидротермы, протеазная активность, субстратная специфичность, ингибиторный анализ.

BIOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF Um-09m STRAIN

A.A. Radnagurueva, E.V. Lavrentieva, B.B. Namsaraev, Ya.E. Dunaevskiy

Biochemical characteristic of Um-09m strain has been studied. It is shown, that strain possesses high subtilisin-like activity. Protease is stable in a wide range of temperatures from 23 to 60°C and pH from 7.52 to 11.41.

Keywords: alkaline hydrotherm, protease activity, substrate specificity, inhibitor analysis.

В последние годы микроорганизмы, обитающие в экстремальных условиях, находятся в центре внимания исследователей. Большой интерес ученых вызывает изучение механизмов биохимической адаптации микроорганизмов к экстремальным условиям окружающей среды [1].

В гидротермах Бурятии широко распространены микроорганизмы – потенциальные продуценты ферментативных систем, устойчивые к высоким значениям температуры и pH. Исследования по выделению, идентификации и классификации ферментов в последние годы проводятся особенно интенсивно, что объясняется востребованностью и многообразием протеолитических ферментов. Они играют ключевую роль в использовании микроорганизмами органических субстратов [2].