

Брагин Иван Валерьевич

Иван Валерьевич работает в ДВГИ ДВО РАН с ноября 2004 г. В 2005 г. после окончания ДВГТУ переведен на должность младшего научного сотрудника лаборатории океанического литогенеза и рудообразования.

В Институте изучал проблемы состава, условий формирования и эволюции термальных вод юга Дальнего Востока России. В 2006 г. проходил стажировку по специальности «гидрогеохимия» в ведущей школе – Томском политехническом университете.

Участник 5 конференций, в том числе 3 международных. Имеет 10 публикаций, включая зарубежные. В 2005–2008 гг. принимал участие в полевых экспедициях на о-в Кунашир, термальные источники Сихотэ-Алинской складчатой области, влк. Токачи-Дэйк (Хоккайдо, Япония), высокогорное оз. Намцо (Тибет, Китай).

Научные интересы: термальные воды областей современного и древнего вулканизма, моделирование процессов системы вода–порода–газ.



УДК 556.314

И.В.БРАГИН, Г.А.ЧЕЛНОКОВ

Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект

Приведены новые данные по газогеохимии месторождений термальных вод Сихотэ-Алинской складчатой области. Изученные щелочные воды принадлежат к $\text{HCO}_3\text{-Na}$ типу. Основной газовый компонент вод – азот, поступающий из атмосферы. Воды инфильтрационные, быстро водообмена, что подтверждается данными по изотопии кислорода и водорода, а также геохимическим моделированием.

Ключевые слова: азотные термы, геохимия вод, газовый состав терм.

БРАГИН Иван Валерьевич – младший научный сотрудник, ЧЕЛНОКОВ Георгий Алексеевич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). E-mail: bragin_ivan@mail.ru

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 07-05-00282, ДВО РАН 09-3-В-448, 09-2-СО-08-005.

New data on gas-geochemistry of thermal waters of Sikhote-Alin folded area are cited in the paper. The studied waters belong to alkaline $\text{HCO}_3 - \text{Na}$ hydrogeochemical type. The main gas is nitrogen, coming from the atmosphere. Terms are of meteoric origin, water exchange time is low, which is verified by hydrogen and oxygen isotopic data, as well as by geochemical modeling.

Key words: nitric thermal waters, water geochemistry, gases in thermal waters.



Рис. 1. Термальные воды Сихотэ-Алиня

термальных вод месторождений Хабаровского края (Тумнин и Анненские минеральные воды) и Приморья (группы источников Амгу и Чистоводное) (рис. 1).

Геолого-гидрологическая характеристика месторождений

Месторождение термальных вод Анненские находится в нижнем течении р. Амур близ деревни Сусанино. На месторождении функционирует скважина № 12 (глубина 201,6 м). По данным бурения и опробования, выход термальных вод приурочен к зоне контакта эффузивов и терригенных осадочных пород верхнего мела Больбинской и Татаркинской свит. Температура воды 50°C, минерализация 0,2–0,35 г/л, основные компоненты, формирующие химический облик воды: Na – 61 мг/л, Si – 26,3 мг/л, Ca – 5,2 мг/л, повышено содержание Li (71,5 мкг/л), Sr (70 мкг/л) [2, 9].

Месторождение минеральных термальных вод Тумнин находится в 80 км от железнодорожной станции Советская Гавань, в нижнем течении р. Тумнин. На месторождении используется скважина № 8 (глубина 460 м). Выход термальных вод приурочен к зоне контакта гранитов и андезито-базальтов Кизинской свиты неогена. Температура воды 44–45°C, минерализация 0,15–0,25 г/л, основные компоненты: Na – 35,6 мг/л, Si – 9,2 мг/л, Ca – 7,8 мг/л, повышено содержание Li (11,4 мкг/л), Sr (17,2 мкг/л), As (21,3 мкг/л) [4, 6].

Выходы термальных вод группы Амгинские термы наблюдаются в нескольких местах Тернейского района Приморского края. В непосредственной близости (несколько

Низкотемпературные термальные воды юга Дальнего Востока распространены вдоль прибрежной зоны Охотского и Японского морей. Большинство их изучалось в 1930–1960-е годы [2, 4, 9]. На большинстве источников в настоящее время функционируют бальнеолечебницы: «Анненские минеральные воды», «Тумнин», «Теплый ключ», «Чистоводное». Остальные проявления используются местным населением для самолечения. Последующие исследования в основном касались геохимии вод [6–9]. При этом газовая составляющая и отдельные аспекты геохимии вод изучены недостаточно.

В настоящей работе приводятся новые данные по геохимии, газовому составу и изотопии

километров) от пос. Амгу построена бальнеолечебница «Теплый ключ», использующая скважину глубиной 120 м. Дальше от поселка имеется естественный выход Банный. Самоизливной выход термальных вод Кхуцин (в направлении пос. Максимовка) обустроен в виде колодца 1 х 1 х 1 м. Месторождение вод этой группы приурочено к зоне контакта гранитных интрузий с эффузивами мезо-кайнозойского возраста. Температура воды 34–35°C, минерализация 0,1–0,2 г/л, основные компоненты: Na – 34,5 мг/л, Si – 46,8 мг/л, SO₄ – 13,6 мг/л, повышено содержание Li (6,3 мкг/л), Sr (24,4 мкг/л), As (6,3 мкг/л) [9].

Месторождение минеральных термальных вод Чистоводненские термы, расположенное в 80 км от пос. Лазо, представлено группой самоизливных и скважинных источников [8]. Вмещающие породы состоят из слаботрещинчатых гранитов верхнемелового возраста, прорванных дайками и жилами аплитов, и диоритовых порфиритов палеогенового возраста. Гранитный массив разбит параллельными разломами, секущими долину. В долине эти породы перекрыты аллювиальными четвертичными отложениями мощностью 3–7 м (Юшакин Е.П. Отчет об обследовании минеральных источников Приморского края. 1968. На правах рукописи / Приморское геологическое управление. Владивосток). Температура воды 34–35°C, минерализация 0,14–0,16 г/л, основные компоненты: Na – 25,3 мг/л, Si – 31,7 мг/л, SO₄ – 5,7 мг/л, повышено содержание Li (46,17 мкг/л), Sr (42,9 мкг/л), As (3,4 мкг/л) [9].

Таким образом, все рассматриваемые источники слабоминерализованные (минерализация < 350 мг/л), принадлежат к одному геохимическому типу – гидрокарбонатно-натриевым водам, их основной газовый компонент – азот.

Результаты и обсуждение

Для рассматриваемой группы месторождений термальных вод характерен рост температуры от южных (приморских) к северным (хабаровским) проявлениям. Данные, полученные при расчетах температур глубинных резервуаров с помощью кварцевого геотермометра, также подтверждают эту зависимость [6]. В этом же направлении в водах месторождений повышается содержание гидрокарбонат-иона, сульфат-иона и натрия. На это влияют глубина циркуляции вод и температура массива вмещающих пород на глубине, вследствие чего процессы выщелачивания происходят более интенсивно.

Газовый состав вод – важнейший показатель происхождения вод. Он нередко влияет на их ионный состав и определяет возможность использования месторождения как бальнеологического ресурса. Растворенные и спонтанные газы рассматриваемых терм представлены в основном азотом с примесью редких газов. Примеси других газов (CH₄, CO₂, O₂), как правило, незначительны. Если присутствие CH₄ и CO₂ можно объяснить глубинными процессами, то присутствие кислорода в пробах, видимо, является либо следствием захвата воздуха при пробоотборе, либо результатом смешения исследуемых терм с водами гипергенной зоны, насыщенной газами атмосферы [1]. Для изучения состава газовой фазы сихотэ-алинских термальных месторождений нами были отобраны и проанализированы пробы вод с растворенным в них газом, на месторождении Кхуцин взята проба спонтанно выделяющегося газа. Результаты анализов приведены в таблице. Исследованные воды по газовому составу можно отнести к азотным термальным.

Как видно из таблицы, значения газового состава месторождений Хабаровского края схожи. Это можно объяснить тем, что оба месторождения разбурены, отбор проб производился непосредственно из накопительной емкости, в которую вода поступает из скважин по трубопроводу. Это единственный способ, так как отбор проб из глубины невозможен. Соотношение основных газов (азота и кислорода) здесь немного различается: состав газа Анненских источников значительно приближен к атмосферному.

Состав газа термальных вод Сихотэ-Алиня, %

Место отбора	Вид пробы	Кол-во газа, мл/л	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄
Приморский край						
Чистоводное, скв. № 44	Растворенный газ	15,74	19,6	79,93	0,47	0,0001
	Источник Банный	-//-	14,68	12,17	86,76	1,02
Кхуцин	Спонтанный газ	-	1,88	98,11	0,01	0,01
	Растворенный газ	10,43	7,57	91,3	1,12	0,01
Хабаровский край						
Тумнин, скв. № 8	-//-	15,43	13,6–14,43	85,53–86,37	0,03–0,04	0,003–0,009
Анненские, скв. № 12	-//-	15,61	17,66–17,96	82,01–82,31	0,03	0,0001–0,003
Атмосферный воздух [1]			20,9476	78,084	0,0314	0,0002

Допустимое содержание растворенных в воде азота и инертных газов в атмосферных условиях не превышает 15–19 мл/л воды [1]. Повышенное содержание этих компонентов говорит о дополнительных (помимо атмосферы) источниках поступления газов в термальные воды. Исследованные же нами воды имеют газонасыщенность 14,68–15,64 мл/л. Только газонасыщенность месторождения Кхуцин (10,43 мл/л) свидетельствует о преждевременной дегазации терм. Возможно, это вызвано тем, что источник изливается в колодец и пробы взяты из открытого резервуара. С учетом небольшого дебита (около 2 л/мин) можно допустить, что вода в колодце успевает дегазироваться. Следовательно, можно предполагать, что исследованные нами газы имеют атмосферное происхождение. Отсутствие влияния ювенильных газов подтверждается и низким отношением изотопов $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($0,1-0,24$) $\cdot 10^{-6}$ для термальных вод месторождения Чистоводное [3].

Ранее для определения генезиса вод был изучен изотопный состав термальных вод (изотопы водорода (дейтерия) и ^{18}O) [7, 9] (рис. 2). Из рисунка видно, что исследуемые воды имеют метеорное происхождение: соответствующие нашим данным точки ложатся близко к мировой линии Крэйга, отражающей закономерность содержания изотопов дейтерия и кислорода во всех метеорных водах мира, в том числе снеге и дожде [10]. Характерно, что к северу воды становятся более легкими, т.е. содержание в них тяжелых изотопов снижается. Это явление носит название «широтный коэффициент». Его значение, рассчитанное

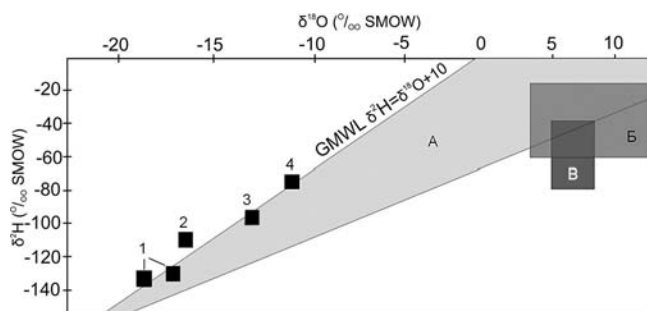


Рис. 2. Соотношение изотопов кислорода и водорода в изученных термальных водах Сихотэ-Алиня [6]. Источники: 1 – Анненские, 2 – Тумнинские, 3 – Амгинские, 4 – Чистоводненские. Воды: А – формационные, Б – метаморфические, В – магматические

нами (4,84 и 0,59‰ на градус широты соответственно для дейтерия и кислорода), совпадает с рассчитанными ранее значениями [11].

Для определения периода циркуляции вод мы воспользовались результатами предшественников по моделированию в системе гранит/вода, которые показывают, что на начальном этапе взаимодействия, при отношении вода/порода $\gg 1$ происходит

формирование слабоминерализованных $\text{HCO}_3\text{-Na}$ вод [5]. Следует отметить, что в системе вода/гранит жидкая фаза при температуре более 25°C и давлении до 5 кбар имеет щелочную реакцию. Таким образом, можно сделать вывод, что исследованные нами воды характеризуются довольно быстрым водообменом.

В целом наши исследования газового состава подтверждают имеющиеся данные по геохимии вод термальных проявлений Сихотэ-Алиня. Исследованные воды – низкоминерализованные низкотемпературные щелочные термальные с азотом в качестве основного газового компонента. Вероятнее всего, азот имеет атмосферное происхождение. В свою очередь воды также являются метеорными, инфильтрационными. Согласно геохимическому моделированию, изученные термы формируются в зонах быстрого водообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР. М.: Геоминвод, 1968. 120 с.
2. Богатков Н.М., Кулаков В.В. Анненские термы // Сов. геология. 1966. № 5. С. 153-155.
3. Боголюбов А.Н., Корпляков О.П., Бенкевич Л.Г., Юденич В.С. Изотопы гелия в подземных водах Приморья // Геохимия. 1984. № 8. С. 1241-1244.
4. Кирюхин В.А., Резников А.А. Новые данные по химическому составу азотных терм юга Дальнего Востока // Вопр. специальной гидрогеологии Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: СО РАН, 1962. С. 71-83.
5. Рыженко Б.Н., Барсуков В.Л., Князева С.Н. Химические характеристики (состав, pH, Eh) системы порода /вода. 1. Система гранитоиды/вода // Геохимия. 1996. № 5. С. 436-454.
6. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, № 6. С. 73-81.
7. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 211 с.
8. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Челноков А.Н. и др. Минеральные воды Приморья (химический аспект). Владивосток: Дальнаука, 1999. 160 с.
9. Bragin I.V., Chelnokov G.A., Chudaev O.V., Chudaeva V.A. Low-temperature geothermal waters of continental margin of Far East of Russia // Proc. 12th Intern. symp. on water-rock interaction WRI-12. L.: Taylor & Francis Group, 2007. P. 481-484.
10. Craig H. Isotopic variations in meteoric waters // Sci. 1961. N 133. P. 1702-1703.
11. Li Xueli, Shi Weijun, Sun Zhanxue et al. The isotope analysis on the genesis of thermal water in Jiangxi, China // Proc. 8th Intern. symp. on water-rock interaction WRI-8. Rotterdam: Balkema, 1995. P. 203-206.