

УДК 556:551 (571.55)

**НОВЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛЫХ ВОД
В ЮГО-ВОСТОЧНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ****¹Замана Л.В., ²Оргильянов А.И., ²Крюкова И.Г.**¹*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, e-mail: l.v.zamana@mail.ru;*²*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, e-mail: irig@crust.irk.ru*

Изложены результаты гидрогеохимического опробования шести проявлений углекислых вод, не упоминавшихся ранее в опубликованных работах. Два из них представлены естественными выходами, остальные вскрыты скважинами, пробуренными для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Приведены данные по содержанию макрокомпонентов, Fe, H₂SiO₃, изотопному составу воды и растворенных карбонатов. По трем пробам изотопный состав воды близок к линии Крейга, что свидетельствует о ее метеогенной природе. В одном случае отмечено утяжеление по кислороду, что объяснено взаимодействием воды с вмещающими породами. Изотопный состав углерода растворенных гидрокарбонатов имел значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от –5,5 до 1,1‰. По геологическим условиям углекислый газ имеет коровое, предположительно термометаморфическое происхождение. Проанализировано соответствие состава изученных проявлений углекислых вод выделенным в ГОСТ Р 54316–2011 гидрохимическим типам.

Ключевые слова: углекислые воды, химический состав, изотопы воды и растворенных карбонатов

NEW SHOWS OF DIOXIDE CARBON WATERS IN SOUTHEASTERN TRANSBAIKALIA**¹Zamana L.V., ²Orgilyanov A.I., ²Kryukova I.G.**¹*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, e-mail: l.v.zamana@mail.ru;*²*Institute of Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, e-mail: irig@crust.irk.ru*

The results chemical analysis six shows of carbonic waters are expounded, not previously mentioned in the published papers. Two of them are natural springs, others stripping wells drilled for drinking water supply. The data on the content of macro components, Fe, H₂SiO₃, the isotopic composition of water and dissolved carbonates are resulted. In three samples the isotopic composition of water is close to Craig's line, indicating that it is atmospheric nature. In one case mentioned weighting of oxygen, which explained the interaction of water with the host rocks. The isotopic composition of carbon dissolved bicarbonates have $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ values from –5,5 to 1,1‰. According to geological conditions of the carbon dioxide gas a crustal, presumably thermal metamorphic origin. Having analyzed the relevant composition studied the manifestations of carbonic waters dedicated to GOST R 54316-2011 hydrochemical types.

Keywords: dioxide carbon waters, chemical composition, water and dissolved carbonate isotopes

Забайкалье принадлежит одно из первых мест в России по количеству углекислых минеральных источников, общее число которых по описаниям приближается к тремстам [7 и др.]. На 16 источниках выполнены геологоразведочные работы, по 13 месторождениям запасы минеральных вод в свое время утверждены ГКЗ СССР. Практика официального курортного применения углекислых вод в регионе насчитывает почти двести лет. Первые лечебные постройки на старейшем в Забайкалье курорте Дарасун, в прошлом республиканского значения, появились в 1819 г. [1]. Из семи использовавшихся до недавнего времени в лечебных целях месторождений на шести санаторно-курортные учреждения сохранились. В последние годы на других источниках созданы еще три местные водолечебницы с врачебным обслуживанием, принимающие и приезжающих из соседних регионов. Многие источники посещаются населением для забора воды

в качестве лечебно-столовой. Вода шести месторождений разливается [5] и поступает в торговую сеть, в том числе за пределы региона, к примеру вода довольно известной марки «Кука-7», которая поставляется и в Монголию [8].

Большинство не каптированных скважинами выходов углекислых вод функционируют круглогодично, не меняя своего местоположения, некоторые мигрируют. Нередко источники, приуроченные к пониженным заболоченным участкам, проявляются лишь в зимний период, когда вследствие сезонного промерзания разгрузка минеральной воды концентрируется в незамерзающих более высокодебитных струях. Другие, напротив, в зимний период перемерзают. В последние 10–15 лет некоторые углекислые источники исчезли. Связано это в основном с общим снижением уровня подземных вод вследствие наступления аридной фазы климатических условий, которые в этот период по

Юго-Восточному Забайкалью оцениваются как наиболее засушливые за последние сто лет [4, 6 и др.]. Известно, что наземные выходы углекислых вод представляют собой разгрузку подземных вод атмосферного питания, насыщенных в верхней гидродинамической зоне поднимающимся с больших глубин углекислым газом [11, 13 и др.]. Особые случаи представляют источники, исчезнувшие вследствие бурения на них поисково-разведочных скважин (Ложниковский, Засуланский и др.). На этом фоне научный и практический интерес представляют проявления углекислых вод, в том числе выявленные недавно, сведения о которых в фондовых и опубликованных работах отсутствуют.

Рассматриваемые проявления углекислых вод представлены двумя природными источниками и вскрыты четырьмя скважинами, бурившимися для хозяйственно-питьевого водоснабжения на пресные подземные воды (табл. 1). Местоположение их указано на рис. 1.

Скважина на животноводческой стоянке Ирдынеевых (№ 1 на рис. 1) пробурена 5–6 лет назад. Глубина ее 22 м, оборудована насосом, уровень воды ниже дневной поверхности. Пройдена в приконтактной зоне пород ононской (средний рифей) и чиндантской (средний девон) свит, представленных слюдястыми сланцами и метаморфизованными песчаниками, алевролитами, аргиллитами, кремнистыми сланцами, эффузивными породами [3].

Скважина в с. Базаново (№ 2) заложена в контуре средне-верхнеюрских преимущественно вулканогенных (андезито-базальты, базальты, дациты) и туфогенно-осадочных пород с подчиненными прослоями конгломератов. Несмотря на самоизлив, оборудована насосом. Обеспечивший фонтанирование скважины гидростатический напор обусловлен развитием многолетней мерзлоты, охватившей верхнюю часть геологического разреза. Этим же объясняется зафиксированное при двухразовом опробовании (табл. 1) снижение температуры воды за год с 0,4 до 0,1 °С, к сентябрю 2016 г. скважина перемерзла, опробовать ее в это время не удалось. Здесь надо отметить, что в 1990 г. на окраине села в 0,6–0,8 км к северу от скважины рядом с родником с пресной водой был углекислый источник с содержанием CO₂ 1,47 мг/л и дебитом около 0,5 л/с, которого при обследовании в 2015 г. не оказалось, тогда как пресный родник продолжал функционировать. Судя по этому, до бурения скважины в водоносном горизонте под мерзлотным экраном формировался значительный по площади ореол растекания углекислого газа, разгрузка которого частично шла через источник. Не исключено, что существовал (и существует) поток CO₂ непосредственно через слой многолетней мерзлоты, а это, по аналогии с «домашним радоном», может сказываться на уровне концентрации углекислого газа в воздухе расположенных на этой территории жилых домов.

Таблица 1

Пункты отбора проб углекислых вод и их географические координаты

№ на рис. 1	Номер пробы	Место отбора пробы	Координаты		Дата отбора пробы
			с.ш.	в.д.	
1	1*	Агинский р-н, в 30 км к юго-западу от ж.д. ст. Оловянная, животноводческая стоянка Ирдынеевых (Булум), скважина	50°45.093'	115°13.472'	15.09.2013
2	2*	Александровозаводский р-н, с. Базаново, скважина	50°57.022'	117°47.281'	05.05.2015
	МВ-16-4	Там же	“-“	“-“	03.05.2016
3	МО-15-12	Ононский р-н, животноводческая стоянка в урочище Сатанинское, скважина	50°05.510'	115°06.139'	19.07.2015
4	МО-15-19	Борзинский р-н, животноводческая стоянка Аршан в 1,5 км от восточного берега оз. Зун-Торей, скважина	50°05.027'	115°58.736'	20.07.2015
5	МВ-15-14	Карымский р-н, источник в пади Куджуртай в 6 км к северо-востоку от с. Урульга	51°48.322'	114°51.042'	11.08.2015
6	МВ-16-03-2	Шилкинский р-н, источник под правобережным уступом р. Шилка, в 5 км к юго-востоку от пос. Холбон	51°51.675'	116°12.667'	10.03.2016



Рис. 1. Схема местоположения характеризуемых проявлений углекислых вод

Скважина в урочище Сатанинское (Ималкинское проявление) (№ 3) пробурена в поле распространения верхнетриасовых континентальных отложений, представленных песчаниками, алевролитами, гравелитами и конгломератами, скважина у оз. Зун-Торей (Аршан Зун-Торейский) (№ 4) – пород чиндантской свиты, состав их указан выше. Обе скважины оборудованы насосами, вода первой популярна у жителей округа.

Куджуртайский источник (№ 5) приурочен к раннепалеозойским гранитоидам (гранодиориты, граниты, плагиограниты). Холбинский источник (№ 6) выходит вблизи геологического контакта нижнемеловых осадочных отложений (алевролиты, песчаники, аргиллиты, конгломераты, бурые угли) и верхнетриасовых преимущественно вулканогенных пород (андезиты, андезитобазальты, туфы, конгломераты). В период открытого русла р. Шилка последний затоплен, зимой над выходом образуется ледяной бугор со скоплением под ним углекислого газа.

Как видно из приведенных кратких геологических сведений, водовмещающие породы при разнообразии петрографического состава во всех случаях представлены алюмосиликатными разностями, карбонатные породы, как возможные источники термометаморфической углекислоты, в геологическом разрезе отсутствуют. Все же в случае терригенных осадочных пород возможно наличие карбонатного цемента, который может участвовать в генерировании углекис-

лоты. По тектоническим условиям только первая скважина пройдена вблизи зоны регионального разлома, остальные проявления углекислых вод от разломов, показанных на среднемасштабных геологических картах, удалены. Однако сам факт наличия углекислых вод свидетельствует о существовании тектонических нарушений, хотя бы локальных, обеспечивающих поступление с глубин углекислого газа. Но глубинные разломы, с которыми связывается поступление мантийной углекислоты в углекислых водах Дальнего Востока [11, 12 и др.], на рассматриваемой территории при высокой её геолого-геофизической изученности не установлены. Отсюда можно делать вывод, что углекислый газ характеризуемых проявлений вод имеет коровое происхождение.

Химико-аналитические исследования водных проб (табл. 2) выполнены в ИПРЭК СО РАН и ИЗК СО РАН сертифицированными лабораториями с использованием общепринятых нормативных методик. Нестойкие показатели (температура воды, pH, Eh) измерялись при отборе проб. Изотопные анализы кислорода и водорода воды производились в изотопных лабораториях географического факультета МГУ и Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ, кислорода растворенных карбонатов – в лаборатории стабильных изотопов ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток, углерода – в Аналитическом центре ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, и лаборатории ДВГИ ДВО РАН.

Таблица 2

Физико-химические характеристики углекислых вод

Показатель	Номер пробы						
	1*	2*	МВ-16-4	МВ-15-14	МВ-16-03-2	МО-15-12	МО-15-19
T °С	2,0	0,4	0,1	2,7	–	4,1	7,5
pH	6,55	6,10	6,90	6,74	6,04	6,37	7,76
Eh, мВ	–	–9	–29	271	55	56	–80
ЭП, мС/см	–	–	–	–	1751	2350	6980
ПО, мгО ₂ /л	–	–	–	0,58	0,77	1,53	7,46
CO ₂ , мг/л	1760	1267	483	1768	4249	737	3374
HCO ₃ ⁻	1599	928	848	671	1342	799	5887
SO ₄ ²⁻	11,1	11,1	2,8	20,4	60,1	22,7	2,1
Cl ⁻	26,2	1,06	1,77	2,88	2,85	144,2	77,4
F ⁻	0,83	0,36	0,45	0,24	0,95	0,56	0,03
NO ₂ ⁻	0,35	<0,01	0,014	0,014	0,016	0,06	0,155
NO ₃ ⁻	5,53	<0,44	0,31	0,68	0,31	16,7	18,3
Ca ²⁺	165,3	145,3	118,2	127,6	274,6	170,0	137,0
Mg ²⁺	161,1	74,8	72,6	34,1	83,2	50,7	139,7
Sr ²⁺	2,63	5,61	–	1,04	–	6,09	3,94
Na ⁺	135,6	36,1	33,2	33,0	54,8	137,7	1757
K ⁺	3,63	3,65	2,94	9,36	7,6	2,47	6,39
NH ₄ ⁺	< 0,1	< 0,1	–	0,5	0,16	–	–
Σ ионов	2111	1205	1080	898	1827	1323	7918
H ₂ SiO ₃	51,4	40,6	–	42,9	79,4	29,5	17,0
P _{общ.}	–	–	–	0,08	0,06	0,095	0,11
Fe _{общ.}	3,85	45,0	33,8	0,014	0,78	1,80	0,32
δ ¹⁸ O _{SMOW} ‰	–	–	–12,8	–13,0	–	–13,3	–14,7
δD _{SMOW} ‰	–	–	–100,0	–96,2	–	–99,0	–105,6
δ ¹³ C _{PDB} ‰	–4,2	–1,1	0,2	–5,5	–	–3,6	1,1
^δ ¹⁸ O _{SMOW} ‰	–	–	15,4	14,7	–	17,1	16,4

Примечание. * Анализы проб 1 и 2 выполнены в Институте земной коры СО РАН; ЭП – электропроводность, микросименс/см; ПО – перманганатная окисляемость; ^ – кислород гидрокарбоната; прочерк – не определяли.

Несмотря на ограниченный объем выборки, по физико-химическим характеристикам представленные в ней углекислые воды достаточно разнообразны. Из изученных в последние годы около 40 проявлений как раз по ним получены максимальные значения pH, минерализации, минимальная величина Eh, из двух случаев содержания более 4,0 мг/л растворенной углекислоты один пришелся на Холбинский источник (другой – вода курорта Шиванда).

По анионному составу вода Ималкинского проявления хлоридно-гидрокарбонатная, в остальных случаях гидрокарбонатная. В катионном составе преобладают

кальций или магний, по скважинам Ирдынеевых и Ималкинского проявления химический тип воды кроме щелочноземельных катионов определяется и натрием (содержание его более 20%-экв.). Только по скважине на стоянке Аршан вода является исключительно натриевой. По содержанию железа вода скважины с. Базаново по ГОСТ Р 54316–2011 [2] относится к дарасунскому типу, выделенному по углекислым водам Забайкалья, но по сравнению с нормативом (1,5 г/л) менее минерализована. По скважине Ирдынеевых и в Холбинском источнике вода по химическому составу и содержанию метакремниевой кисло-

ты H_2SiO_3 (выше 50 мг/л) соответствует кукинскому гидрохимическому типу, но не отвечает ему по концентрации железа (менее 10 мг/л). Другие рассматриваемые проявления углекислых вод также по тем или иным показателям отличаются от выделенных в ГОСТ гидрохимических типов. Так, вода Ималкинского проявления по химическому составу близка карачинскому типу, но является углекислой, тогда как карачинская вода к углекислым не относится. В Куджуртайском источнике по химическому составу вода соответствует дарасунскому и кукинскому типам, но не содержит требуемого нормативом минимального количества ни железа, ни кремнекислоты и имеет более низкую минерализацию.

По проявлениям углекислых вод в районе Торейских озер, наиболее крупных в Юго-Восточном Забайкалье (суммарная площадь акваторий в период максимального наполнения около 850 кв. км), Н.И. Толстихин еще в первой половине прошлого века выделил торейский тип, химический состав которого первоначально определил как хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый. Позже анионный состав вод этого типа изменен на гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный с разным соотношением анионов [10]. Более поздних данных, которые подтверждали бы наличие углекислых вод такого состава в этом районе, нет. По полученным нами данным вода скважины на стоянке Аршан по химическому составу гидрокарбонатная натриевая, отличается от торейского типа, как и вскрытого в том же районе Ималкинского проявления.

Изотопный состав водорода и кислорода воды по трем проявлениям близок к Глобальной линии метеорных вод или линии Крейга (рис. 2), что подтверждает метеоро-

генный источник водной фазы. Заметным утяжелением по кислороду с правосторонним сдвигом по отношению к линии Крейга отличается только вода по скважине с. Базаново. Такой сдвиг имеет место при испарении воды, в том числе с уровня подземных вод, чего в данном случае ввиду наличия многолетней мерзлоты быть не может. Взаимодействие воды с углекислым газом, напротив, дает облегченный состав кислорода. Очевидно, утяжеление кислорода в данном случае происходит, как традиционно принято объяснять, в результате изотопного обмена между водой и вмещающими породами.

По изотопному составу углерода растворенных карбонатов ($\delta^{13}C$ от $-4,2$ до $1,1\%$, табл. 2) исходный для их формирования углерод при условии изотопного равновесия с углекислым газом (коэффициенты фракционирования между CO_2 и ионами HCO_3^- и CO_3^{2-} по [14] соответственно равны $1,014$ и $1,012$) должен быть легче мантийного. Таким может быть углерод биохимического генезиса, что в случае магматических вмещающих пород вызывает сомнение. Но возможность формирования углекислых вод в результате физико-химических взаимодействий воды с алюмосиликатными породами без участия биохимических процессов и внешнего поступления углекислоты показана методом термодинамического моделирования в работе [9]. К этому надо добавить, что по имеющимся немногочисленным данным изотопные соотношения углерода растворенного (карбонатов) и в газовой фазе не достигают разницы, соответствующей указанным коэффициентам фракционирования, изотопное равновесие не наступает или, что более вероятно, возможно при других изотопных соотношениях.

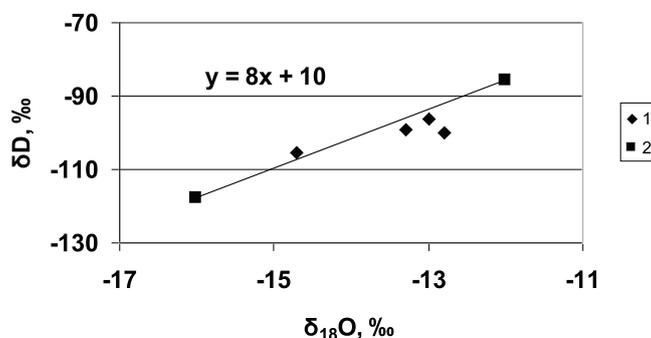


Рис. 2. Изотопный состав водорода и кислорода воды: 1 – фигуративные точки изотопного состава углекислых вод; 2 – точки Глобальной линии метеорных вод (уравнение линии указано)

Изложенные результаты исследований не только расширяют базу данных по углекислым водам Восточного Забайкалья, но и вносят определенный вклад в представления об их химическом разнообразии. Данные изотопных анализов подтверждают метеогенное происхождение воды, изотопный состав углерода растворенных карбонатов, напротив, не дает возможности однозначно судить о генезисе углекислоты. Случайный характер вскрытия углекислых вод скважинами свидетельствует о более широком пространственном газировании недр углекислым газом, чем можно было судить по известным проявлениям. Но генезис углекислого газа остается дискуссионным. По геологическим условиям распространения газифицирующихся им вод очевидно, что в основной массе проявлений природа его не мантийная, а, скорее, термометаморфическая. Могут ли алюмосиликатные породы обеспечить генерирование углекислоты, тем более с достаточно легким изотопным составом углерода – вопрос дальнейших исследований.

Подготовлено по результатам исследований по госзаданию при поддержке проекта РФФИ № 14-05-98015p_Сибирь_a_«Геохимия и формирование углекислых вод Даурской гидроминеральной области».

Список литературы

1. Боечко И.Д., Козлов В.А. Курорты Восточной Сибири. – Иркутск: Восточно-Сибирское кн. изд-во, 1965. – 144 с.
2. ГОСТ Р 54316–2011. Воды минеральные природные питьевые. – М.: Стандартинформ, 2011. – 41 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист М-50 – Борзя. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. – 553 с.
4. Давыдова Н.Д. Динамика показателей степных геосистем Юго-Восточного Забайкалья в условиях глобальных изменений климата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 4. – С. 120–126.
5. Замана Л.В. Гидроминеральные ресурсы Забайкальского края // Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов. – 2015. – Т. 2, № 1–1. – С. 131–134.
6. Замана Л.В., Вахнина И.Л. Гидрохимия соленых озер Юго-Восточного Забайкалья в фазу аридизации климата в начале XXI века // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11–4. – С. 608–612.
7. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. 1. Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение / Под ред. В.Г. Ткачук и Н.И. Толстихина. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 346 с.
8. Оргильянов А.И., Крюкова И.Г., Бадминов П.С. Лечебные углекислые минеральные воды Монголо-Байкальского региона // Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов. – 2015. – Т. 2, № 1–1. – С. 103–108.
9. Павлов С.Х., Чудненко К.В. Углекислые воды – результат физико-химических взаимодействий в системе «вода – порода» // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием, г. Владивосток, 06–11 сентября 2015 г. – Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2015. – С. 159–162.
10. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). – Л.: Недра, 1977. – 240 с.
11. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 216 с.
12. Челноков Г.А., Харитонова Н.А., Брагин И.В. Состав и генезис газов углекислых минеральных вод юга Дальнего Востока России // Известия вузов. Геология и разведка. – 2013. – № 5. – С. 42–46.
13. Шварцев С.Л., Харитонова Н.А., Лепокурова О.Е., Челноков Г.А. Генезис и эволюция углекислых минеральных вод месторождения Мухен (Дальний Восток) // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 1. – С. 48–59.
14. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Соотношение изотопов углерода в стратосфере и биосфере: четыре сценария // Биосфера. – 2010. – Т. 2, № 2. – С. 231–246.