

УДК 550.42:551.23

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗОТОПНОМ СОСТАВЕ ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА В ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНОЙ ЧУКОТКИ

© 2004 г. А. Л. Чешко, Е. О. Дубинина, Е. А. Вакин, В. Ю. Лаврушин, Б. Г. Поляк

Представлено академиком О.А. Богатиковым 30.12.2003 г.

Поступило 26.12.2003 г.

Разгружающиеся в прибрежных районах Чукотки хлоридно-натриевые гидротермы с минерализацией до 35 г/л традиционно считались связанными с морскими водами – неизменными или в той или иной степени метаморфизованными [1–7 и др.]. Сходные по солевому и газовому составу гидротермы известны в приморских районах Дальнего Востока России, а также в Японии, Исландии и других странах. В.И. Кононов и Р.И. Ткаченко [8] выделили их в специфический тип так называемых береговых или “морских” терм. Такое представление о генезисе чукотских гидротерм не было, однако, подкреплено данными об изотопном составе в них водорода и кислорода. Но только эти данные в отличие от других гидрохимических характеристик могут однозначно решить проблему происхождения воды, поскольку основные типы природных вод (метеогенные, морские, магматогенные) характеризуются специфическими значениями величин δD и $\delta^{18}O$ (см. [9–11] и др.). Поэтому в июле–августе 2002 г. нами было предпринято опробование термоминеральных вод Восточной Чукотки, а также морских и местных поверхностных вод. Изучение гидротерм Чукотки стимулировалось также стремлением уточнить их теплоэнергетические ресурсы, использование которых особенно актуально в этом районе с его суровым климатом и повсеместным распространением вечной мерзлоты.

Были опробованы девять групп термоминеральных источников Восточной Чукотки – Чаплинские, Сенявинские (Пенкигнейские), Кивакские, Аракамчеченские, Кукуньские (Лоринские горячие),

Мечигменские (Гильмимлинейские), Туманные, Бабушкины Очки (Безымянные) и Дежневские (рис. 1). На источниках был проведен широкий комплекс гидро- и газохимических, гидрогеологических и изотопных исследований. В настоящей работе рассмотрены только данные по изотопии водорода и кислорода в природных водах региона (табл. 1).

В геологическом отношении исследованные источники в основном приурочены к зонам тектонических нарушений, секущих граниты, гранит-порфиры и сиениты преимущественно мелового возраста и более древние гнейсово-сланцевые толщи [4]. Все они выходят на низких абсолютных отметках (не более 100 м над уровнем моря), причем шесть групп из девяти разгружаются в прибрежной зоне не далее 10 км от уреза воды, а три остальных – в Колючинско-Мечигменской депрессии на удалении от моря до 50 км (см. рис. 1).

Температура вод на выходе колеблется от 14°C в южном грифоне Бабушкиных Очков до 97°C на одной из термальных площадок Мечигменских источников. Минерализация вод также меняется в широких пределах – от 1.3 г/л в Сенявинских и Аракамчеченских источниках до ~20 г/л в Чаплинских и Дежневских. По химическому составу воды хлоридные натриево-кальциевые (катионы перечислены в порядке убывания концентраций). Все источники газифицированы, причем в большинстве из них в газовой фазе доминирует азот. Исключением являются источники Бабушкины Очки, в газах которых, по нашим определениям, до ~90 об. % составляет углекислота, и в меньшей степени Мечигменские, в газовой фазе которых тоже содержится CO_2 в количестве 30–50 об. % (остальное – N_2).

В морских водах Берингова пролива и лагуны Кивак (см. табл. 1 и рис. 2а) значения δD и $\delta^{18}O$ меняются соответственно от –10 до –27‰ и от –1.3 до –3.4‰ относительно SMOW. В поверхностных же водах из окрестностей термоминеральных источников эти величины меняются в пределах соответственно от –99 до –113‰ и от –13.6

*Геологический институт
Российской Академии наук, Москва
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии и геохимии
Российской Академии наук, Москва
Институт вулканической геологии и геохимии
Российской Академии наук,
Петропавловск-Камчатский*

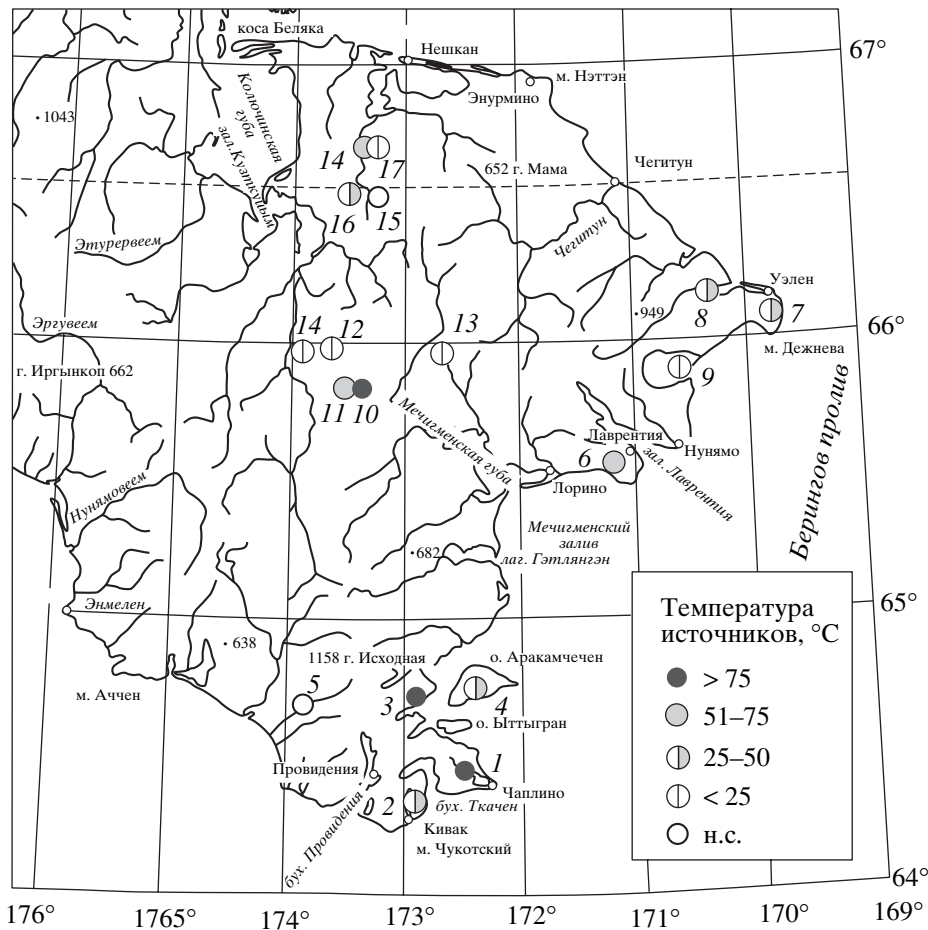


Рис. 1. Карта термоминеральных источников Восточной Чукотки. Цифрами обозначены группы источников: 1 – Чаплинские, 2 – Кивакские, 3 – Сенявинские (Пенкигнейские), 4 – Аракамченские, 5 – Синевээмские, 6 – Кукуньские (Лоринские горячие), 7 – Дежневские, 8 – Пыкеньлуньвээмские, 9 – Итыквивээмские, 10 – Мечигменские (Гильмимлинейские), 11 – Туманные, 12 – Бабушкины Очки (Безымянные), 13 – Нельпыгенвээмские, 14 – Оленьи, 15 – Кубинские, 16 – Тенинские, 17 – Тэюкейские, 18 – Нэшканские. Жирным шрифтом выделены источники, обследованные в 2002 г.

до -14.8‰ и значительно отличаются от типичных для морских вод. Некоторое увеличение значений δD и $\delta^{18}O$ в небольших ручейках близ Чаплинских и Кивакских источников связано, вероятно, с поверхностным испарением.

В самих термальных водах региона диапазоны величин δD и $\delta^{18}O$ шире и составляют соответственно $-96...-134\text{‰}$ и $-12.6...-17.6\text{‰}$. Эти значения практически идентичны среднегодовым величинам δD и $\delta^{18}O$ в атмосферных осадках на метеостанциях Аляски [12], лежащих на границах широтного диапазона района наших исследований. По особенностям изотопного состава воды исследованные гидротермы разделяются на две группы – прибрежные (куда входят все “береговые” термы, за исключением Сенявинских) и относительно удаленные от моря источники Колочинско-Мечигменской депрессии.

Гидротермы первой группы – Чаплинские, Аракамченские, Кивакские, Лоринские и Дежневские источники – по изотопному составу существенно отличаются от морской воды и практически идентичны (большая часть) местным поверхностным водам. На диаграмме $\delta D-\delta^{18}O$ (рис. 26) все фигуративные точки, отвечающие этим гидротермам, располагаются практически на так называемой “линии метеорных вод”, или “прямой Крейга”, отражающей изотопное облегчение атмосферных осадков с ростом широты места опробования. На этом основании можно заключить, что в этой группе источников явно преобладает питание гидротерм местными инфильтрационными водами.

Более сложным оказывается происхождение гидротерм второй группы, разгружающихся в Колочинско-Мечигменской депрессии и на берегу пролива Сенявина. Здесь местные пресные воды по изотопному составу практически такие же, что

Таблица 1. Изотопный состав водорода и кислорода природных вод Восточной Чукотки, ‰, SMOW

Источники, место отбора	<i>t</i> , °C	<i>M</i> , г/л	δ ¹⁸ O	δD
Чаплинские, р. Ульхум выше источников	6.7	0.0026	-13.8	-99
Чаплинские, р. Ульхум ниже источников	14.3	1.2	-13.3	-99
Чаплинские, ручей с г. Утюг			-11.1	-89
Чаплинские, скважина	87.5	19.5	-13.6	-101
Чаплинские, источник у бассейна	67.8	18.1	-13.2	-102
Чаплинские, нижняя группа	68.1	17.8	-13.4	-100
Чаплинские, верхняя группа	79.0	18.1	-13.1	-101
Сенявинские, р. Ключевая выше источников	14.0	0.0026	-14.1	-106
Сенявинские, р. Ключевая ниже источников		0.0094	-14.3	-107
Сенявинские, грифон 1(верхний)	77.7	1.3	-17.4	-131
Сенявинские, грифон 2 (нижний)	78.7	1.3	-17.2	-130
Аракамчеченские, р. Пыльмымлан	15.0	0.007	-14.1	-107
Аракамчеченские, нижний грифон	37.4	1.3	-13.9	-105
Лагуна Кивак, ручей			-12.1	-93
Кивакские, выход у крытого бассейна	43.1	4.3	-12.8	-96
Кукуньские, р. Кукунь выше источников		0.0012	-13.6	-107
Кукуньские, грифон 1 (главный)	60.0	4.5	-14.1	-110
Кукуньские, грифон 2 (выход в бассейне)	52.5	3.6	-14.6	-109
Мечигменские, р. Хельхмымлевеем выше источников	7.0	0.017	-14.2	-112
Бабушкины Очки, река 2 км к югу от источников			-14.3	-110
Озеро Иони			-14.8	-113
Мечигменские, грифон 1 в правом борту долины	89.7	3.8	-16.0	-131
Мечигменские, грифон 2 в центре поля	64.3	3.9	-14.8	-127
Туманные, группа 1	58.6		-16.2	-132
Туманные, группа 2	55.1	3.2	-16.9	-132
Бабушкины Очки, северный грифон	20.1	9.2	-17.5	-134
Бабушкины Очки, южный грифон	13.7		-17.1	-132
Бабушкины Очки, источник у подножия конуса	14.2	9.4	-17.6	-134
Дежневские, ручей Горячий выше источников			-13.7	-98
Дежневские, ручей Горячий ниже источников		0.0417	-12.9	-97
Дежневские, скважина Верхняя	69.0	19.1	-13.2	-97
Дежневские, скважина Центральная	60.1	18.3	-12.6	-96
Дежневские, скважина Нижняя	52.8	19	-13.4	-97
Берингов пролив, морская вода			-1.3	-10
Лагуна Кивак, морская вода			-3.4	-27
Поселок Урелики, река	7.0	0.002	-13.6	-97
Поселок Провидения, холодный источник	2.8	0.0035	-13.3	-100
Barrow, Аляска, 71.3°N, 156.78°W, атм. осадки [12]			-17.6	-130
Bethel, Аляска, 60.78°N, 161.8°W, атм. осадки [12]			-12.6	-99
Восточная Сибирь, ископаемый лед [13]			-26.1	-204

и вблизи перечисленных выше прибрежных источников первой группы, а термальные значительно легче. Логично заключить, что в формировании этих гидротерм участвуют воды, более

легкие по изотопному составу, чем местные атмосферные осадки. Наблюдаемая разница могла бы быть в какой-то мере обусловлена тем, что пробы пресных поверхностных вод отбирались в

июле–августе, тогда как зимние осадки, которые преобладают в водном питании гидротерм, всегда изотопно легче летних. Но тогда различие в изотопных составах метеорных и термальных вод отмечалось бы во всех исследованных очагах разгрузки гидротерм, чего не наблюдается, так что причины этого различия должны быть иными.

Меньшие концентрации тяжелых изотопов Н и О в термальных водах второй группы по сравнению с местными метеорными теоретически могут быть связаны и с разной высотой их областей питания. Известно, что с ростом этой высоты атмосферные осадки становятся изотопно легче с градиентами $\Delta\delta D/\Delta h = 1.5-4\text{‰}$ и $\Delta\delta^{18}O/\Delta h = 0.15-0.5\text{‰}$ на каждые 100 м высоты [12]. В таком случае области питания термальных вод Колючинско-Мечигменской депрессии и Сенявинских источников должны находиться минимум на 500–600 м выше, чем пресных поверхностных. Действительно, недалеко от Сенявинских источников находится самая высокая на Восточной Чукотке гора Исходная (1158 м), а в Колючинско-Мечигменской депрессии амплитуда рельефа достигает 700–800 м, так что такое объяснение изотопного облегчения термальных вод второй группы по сравнению с поверхностными вполне допустимо.

Полученные данные об изотопном составе водорода и кислорода в гидротермах Колючинско-Мечигменской депрессии и Сенявинских источников могут свидетельствовать и об иных, более холодных палеоклиматических условиях формирования термальных вод. Так, известно, что изотопный состав ископаемого льда Восточной Сибири, сформировавшегося в более холодные древние климатические эпохи, характеризуется очень низкими величинами δD и $\delta^{18}O$, составляющими соответственно -204 и -26.1‰ [13, стр. 94]). Не исключено, что в формировании гидротерм какое-то участие принимает и вода тающего под их влиянием такого многолетнего льда.

Наконец, изотопный состав гидротерм второй группы может быть следствием подмешивания в них подмерзлотных вод, которые при формировании мерзлоты обогащались легкими изотопами кислорода и водорода, тогда как тяжелые консервировались в мерзлой толще (фракционирование изотопов воды при образовании льда хорошо известно [13 и др.]).

Нельзя не упомянуть и еще об одной изотопной особенности гидротерм Колючинско-Мечигменской депрессии – в водах Туманных и особенно Мечигменских источников, самых горячих на Чукотке, хорошо заметно увеличение значений $\delta^{18}O$ относительно “прямой Крейга”. Это так называемый “кислородный сдвиг”, обусловленный изотопным обменом воды с вмещающими породами. Его рост отражает большее время взаимо-

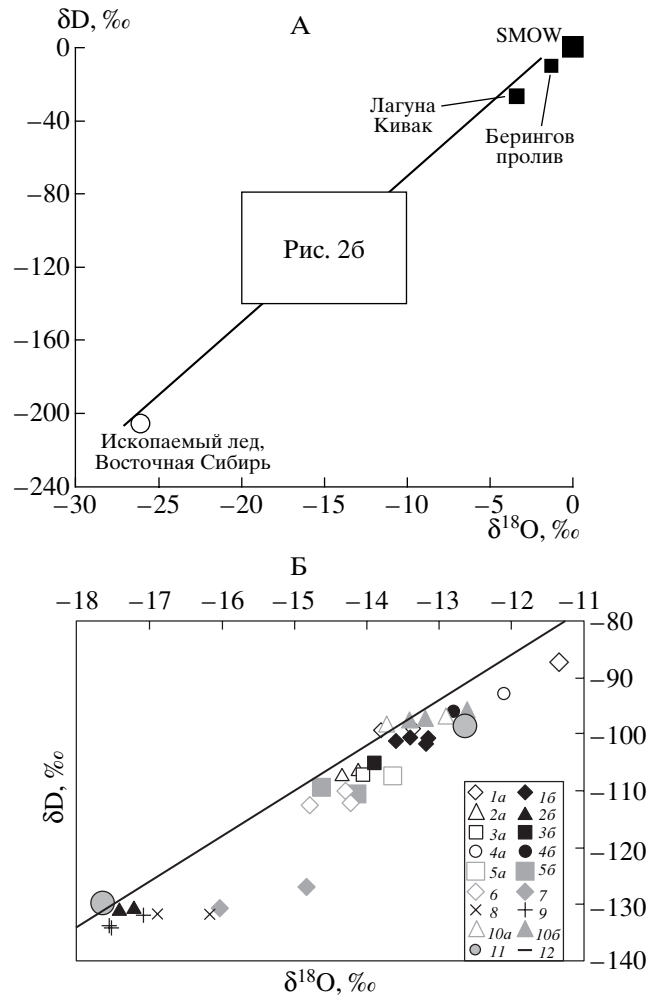


Рис. 2. Изотопный состав поверхностных и термоминеральных вод Восточной Чукотки: А – прибрежные морские воды и ископаемый лед; Б – пресные поверхностные и термальные воды (1а – Чаплинские, поверхностные воды, 1б – Чаплинские, термальные воды, 2а – Сенявинские, поверхностные воды, 2б – Сенявинские, термальные воды, 3а – Аракамченские, поверхностные воды, 3б – Аракамченские, термальные воды, 4а – Кивакские, поверхностные воды, 4б – Кивакские, термальные воды, 5а – Кукуньские, поверхностные воды, 5б – Кукуньские, термальные воды, 6 – Колючинско-Мечигменская депрессия, поверхностные воды, 7 – Мечигменские, термальные воды, 8 – Туманные, термальные воды, 9 – Бабушкины Очки, термальные воды, 10а – Дежневские, поверхностные воды, 10б – Дежневские, термальные воды, 11 – Аляска, среднегодовые осадки, 12 – линия метеорных вод).

действия в системе “вода/порода”, т.е. возраст вод или длительность их подземной циркуляции.

Из сказанного выше можно заключить, что источником термоминеральных вод Восточной Чукотки являются воды метеорного происхождения, причем диапазон параметров δD и $\delta^{18}O$ не исключает участия в формировании терм как грунтовых, так и талых вод. Вместе с тем изотопный

состав водорода и кислорода исследованных гидротерм однозначно указывает на отсутствие в их водном питании “морской” составляющей.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 03–05–64869), а также Программы № 7 Фундаментальных исследований ОНЗ РАН “Изотопная геология: геохронология, источники вещества” (контракт № 914).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головачов Ф.А. // Арктика. № 5. 1937. С. 57–80.
2. Никольский А.П. // Арктика. № 5. 1937. С. 81–92.
3. Калабин А.А. Минеральные источники Северо-Востока СССР. Магадан: ВНИИ-1, 1959. 108 с.
4. Иванов В.В. Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: ЦНИИКиФ, 1960. С. 171–262.
5. Завгородний В.Ф. // Колыма. № 3. 1962. С. 17–20.
6. Гольдтман В.Г. Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1967. С. 74–80.
7. Стремяков А.Я. Региональная геотермия и распространение термальных вод в СССР. Труды II совещания по геотермическим исследованиям в СССР. М.: Наука, 1967. С. 280–283.
8. Кононов В.И., Ткаченко Р.И. Гидротермальные минералообразующие растворы областей современного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 38–46.
9. Craig H. // Science. 1961. V. 133. P. 133–139.
10. Тейлор Х.П. Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1982. С. 200–234.
11. Уайт Д.Е. Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М.: Мир, 1977. С. 464–509.
12. Yurtsever Y., Gat J.R. In: Stable Isotope Hydrology. Vienna: IAEA, 1981. P. 103–142.
13. Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода в природных водах СССР. Л.: Недра, 1982. 216 с.