

**Типизация и условия формирования термальных вод Курильских островов.****Е.Г. Калачева, Т.А. Котенко, Е.В. Волошина***Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский**e-mail: keg@kscnet.ru*

Курильская островная дуга протягивается более чем на 1200 км от южной оконечности п-ва Камчатка до о. Хоккайдо, отделяя Охотское море от Тихого океана. Дуга является областью интенсивного новейшего вулканизма, определяющего строение и основные формы рельефа. Часть активных вулканов характеризуется интенсивной сольфатарной и гидротермальной деятельностью. Это вулканы Эбеко (о. Парамушир), Синарка (о. Шиашкотан), Палласа и Кетой (о. Кетой), Ушишир (о. Янкича), Берга (о. Уруп), Баранский (о. Итуруп), Менделеев и Головнина (о. Кунашир) и некоторые другие. Координаты отдельных групп термальных источников и сольфатарных полей, включенных в исследование, их основные физико-химические показатели представлены в таблице.

**Результаты исследования**

Вопросами классификации термальных вод в областях современного вулканизма, с привлечением данных по Курильским островам занимались многие исследователи. Для выделения отдельных типов использовались данные по химическому и газовому составу, условиям разгрузки, приуроченности к разрывным нарушениям и т.д. Придерживаясь наиболее известной классификации [1], исследуемые термальные воды можно разделить на три большие группы. Также на некоторых островах существуют локальные разгрузки вод, образовавшихся в определенных геологических и гидрогеологических условиях и не попадающие ни в одну выделенную группу.

Первая группа - кислые ( $\text{pH} < 4$ ) сульфатные воды с температурами до  $100^\circ\text{C}$ . Формируются за счет поглощения низкотемпературных вулканических паров, в газовой фазе которых преобладает  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ , поверхностными или грунтовыми водами непосредственно на термальных полях. В отечественной литературе подобные воды называются "фумарольные термы поверхностного формирования" [1] или "гидросольфатары" [3]. В зарубежной литературе принят термин "steam-heated" – нагретые паром воды. Разгрузка представлена, в основном, водными или водно-грязевыми котлами, бессточными или мало дебитными. Воды с низким  $\text{pH}$  выщелачивают из вмещающей породы породообразующие и микроэлементы в соотношении, близком к таковому в породе (изохимическое растворение), при этом в кипящих лужах с прозрачной водой общее количество растворенных солей меньше, чем в водно-грязевых котлах. Средняя минерализация составляет 2–5 г/л. Основным катионом является  $\text{Ca}^{2+}$  (до 100–150 мг/л), постоянно присутствуют Fe и Al в концентрациях до 100 мг/л. Данный тип вод присутствует практически на всех островах, для которых характерно наличие сольфатарных полей в кратерах и на склонах вулканов. Следует отметить, что при определенных гидрогеологических и морфоструктурных условиях, в зависимости от пути и длины фильтрации метеорных вод и глубины конденсации пара, в пределах одного поля могут формироваться не только кислые сульфатные, но и другие типы вод. Так в эрозионном кратере вулкана Кетой на одноименном острове обнаружены [2] кипящие источники, воды которых относятся к слабощелочному ( $\text{pH}$  до 7,6) Na-Ca-SO<sub>4</sub>-типу с невысокой минерализацией (до 1,5 г/л). В данной работе рассматриваются только кислые сульфатные воды.

Таблица. Координаты расположения термальных полей и источников

Вулкан, место отбора		Остров	Координаты		Т, °С	рН	S, mS/cm
			с. ш.	в. д.			
кислые SO <sub>4</sub> - воды							
Эбеко, Сев.-восточное поле		Парамушир	50°41'28"	156° 1'19"	80,0	1,50	7,80
Синарка, Сев.-восточное поле		Шиашкотан	48°52'28"	154°11'53"	77,8	2,64	3,32
Кетой, руч. Горчишный		Кетой	47°21'11"	152°26'07"	30,8	3,19	2,54
Пик Палласа, оз. Глазок			47°20'39"	152°28'48"	16,0	2,40	3,28
Баранского, Старозаводское поле		Итуруп	45°05'37"	147°59'19"	н.и.	2,86	1,53
Головнина, Центр. западное поле		Кунашир	43°52'19"	145°29'44"	72,0	1,83	9,94
Головнина, Внешнее поле			43°54'05"	145°29'31"	96,0	2,58	3,84
Головнина, Центр. восточное поле			43°51'55"	145°29'53"	75,0	2,15	3,31
Менделеева, Сев.-восточное поле			43°59'24"	145°45'21"	99,6	2,35	2,16
Менделеева, Сев.-западное поле			43°59'15"	145°43'41"	56,6	2,09	1,99
кислые Cl-SO <sub>4</sub> (SO <sub>4</sub> -Cl) воды							
ВЮ	Эбеко, В-Юрьевские (ист. 1)	Парамушир	50°42'06"	155°59'52"	86,3	0,99	49,20
ЦЭЖ	Синарка, Центр. экстр. куп.	Шиашкотан	48°52'29"	154°10'12"	43,9	3,41	8,09
Кт	Кунтоминтар, кратер		48°45'32"	154° 0'46"	96,1	1,73	19,61
М	Берга, Марьинские ист.	Уруп	46° 4'16"	150° 3'48"	31,0	3,15	3,95
ГО	Баранского, Голубые озера	Итуруп	45°05'00"	147°59'25"	н.и.	1,50	24,90
К	Головнина, оз.Кипящее	Кунашир	43°51'50"	145°30'04"	44,0	1,86	3,01
НД	Менделеева, Нижнедок. ист.		44° 0'06"	145°47'18"	47,7	3,50	3,50
НМ	Менделеева, Нижнемен. ист.		43°59'58"	145°46'05"	81,8	2,28	8,00
ВД	Менделеева, Верхнедок. ист.		43°59'59"	145°46'25"	87,3	2,13	7,97
Na-Cl –воды							
Сн	Ист. ванны Сноу	Расшуа	47°44'19"	152°58'25"	35,3	7,39	6,31
В	Водопадные ист.	Шиашкотан	48°51'41"	154° 5'58"	91,1	7,50	20,70
Д	Дробные ист.		48°50'46"	154° 5'35"	55,7	6,33	18,28
З	Закатные ист.		48°47'38"	154° 4'33"	73,3	6,30	4,10
Бю	Башмачные (южные) ист.		48°53'21"	154° 6'28"	75,2	6,95	6,22
Бс	Башмачные (северные) ист.		48°53'37"	154° 7'9"	62,0	6,63	9,95
АК	Алехинские кипящие ист.		Кунашир	43°54'18"	145°29'11"	100	8,46
Тр	Третьяковские ист.	43°59'06"		145°39'21"	95,7	7,24	3,76
Ст	Столбовские ист.	44° 00'26"		145°41'00"	78,0	6,90	3,39
ДК	Ист. Добрый ключ	44°10'21"		145°59'32"	58,0	6,40	2,26
ГеоТЭС	ГеоТЭС (скв. 101)	43°59'39"		145°46'23"	99,1	6,70	6,50
ГП	Сан. "Горячий пляж" (скв.)	44°00'07"		145°47'28"	66,0	7,29	5,20
П2	Скв. П2	Парамушир		50°39'42"	156° 5'26"	70,9	7,90
ГеоТЭС	ГеоТЭС (скв. 65 <sup>5</sup> )	Итуруп	45° 05'35"	147°59'16"	190,0	6,30	н.и.
Я	Ушишир, Термальное поле	Янкича	47°30'29"	152°49'10"	95,7	4,03	33,60

Примечание: н.и. - не измерялось. \* из работы [4].

Вторая группа – кислые (рН<4) хлоридно-сульфатные (сульфатно-хлоридные) воды с температурой 30–100°С и минерализацией до 14 г/л. Этот тип вод формируется,

как правило, в пределах верхних частей построек вулканов. Специфические условия способствуют формированию неглубоких ограниченных водоносных горизонтов, в которых происходит поглощение легкорастворимых вулканических газов, таких как  $\text{SO}_2$  и  $\text{HCl}$ . По классификации [1], подобные воды относятся к "фумарольным термам глубинного формирования". Их разгрузка в большинстве случаев осуществляется на средних высотных отметках построек вулканов в виде отдельных или площадных выходов безнапорных (или с местным напором) вод со значительными дебитами, до 5 л/с в отдельных источниках. Следует отметить, что для каждой группы источников характерны определенные весовые соотношения основных анионов (рис. 1). Термальные воды, разгружающиеся на склонах вулканов Эбеко (ВЮ), Берга (М) и Баранского (ГО) формируют единый тренд с  $\text{Cl}/\text{SO}_4 \sim 0,3$ . Для вод вулкана Кунтоминтар также характерно преобладание  $\text{SO}_4^{2-}$  над  $\text{Cl}^-$ , но с другим коэффициентом  $\text{Cl}/\text{SO}_4 \sim 0,1$ . В кислых водах вулканов Синарка (ЦЭК), Менделеева (ВД, НД) и Головнина (К) доминирует  $\text{Cl}^-$ -ион с весовым отношением  $\text{Cl}/\text{SO}_4 \sim 1,7$ . Для всех вод этой группы характерен пестрый катионный состав с высокими содержаниями  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Al}$ .

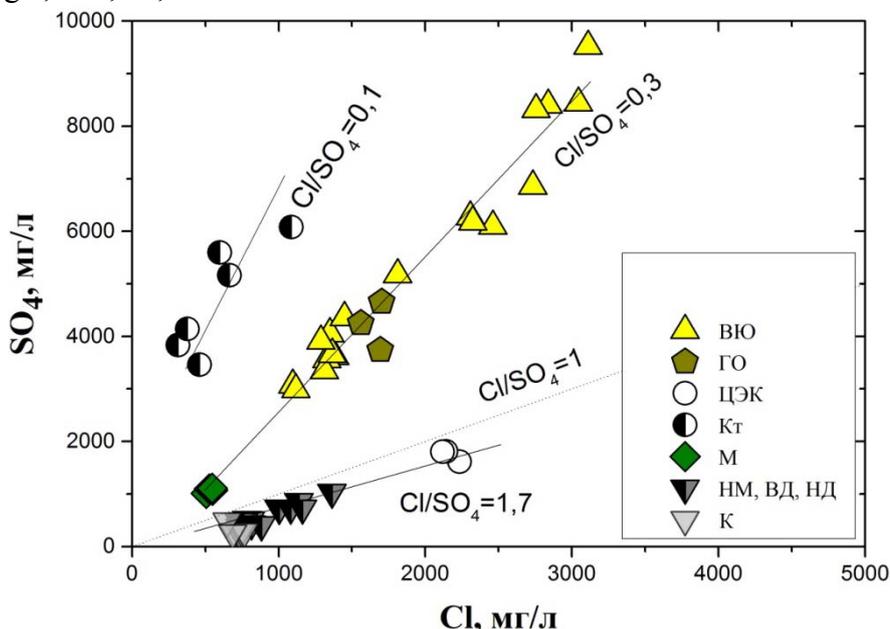


Рис. 1. Соотношение  $\text{Cl}$  к  $\text{SO}_4$  в кислых  $\text{SO}_4\text{-Cl}$  ( $\text{Cl-SO}_4$ ) водах Курильских островов. Шифры термальных полей и источников соответствуют таблице.

Третью группу термальных вод объединяет близнеутральный  $\text{pH}$  (6,2–7,4) и хлоридный натриевый состав. Минерализация колеблется от 3–4 до 8–10 г/л, а температура от 30 до 100°C. Условия формирования и разгрузки для этих вод разные. В эту группу попадают все береговые источники о. Шиащкотан (Бю, Бс, В, Д и З), о. Расшуа (Сн) и о. Кунашир (Ст, Тр, АК). К  $\text{Na-Cl}$  типу относятся и глубинные воды, вскрытые скважинами на островах Парамушир, Итуруп и Кунашир. В соотношении  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  в термальных водах наблюдается несколько различных трендов. Точки составов береговых источников о. Шиащкотан и о. Расшуа вытянуты вдоль линии смешения с морской водой при среднем весовом отношении равным  $\sim 9$  (рис. 2а). Прибрежные источники о. Кунашир и воды, вскрытые скважинами, разделились на две группы. Столбовские (Ст) и Добрый Ключ (ДК) лежат значительно выше линии смешения с морской водой (рис. 2б). В эту же часть диаграммы попадают неглубокие скважины, пробуренные на территории санатория "Горячий Пляж" (о. Кунашир). В другую группу попадают все кипящие источники (Тр, АК) и глубокие геотермальные скважины. Для них характерны очень низкие содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионов.

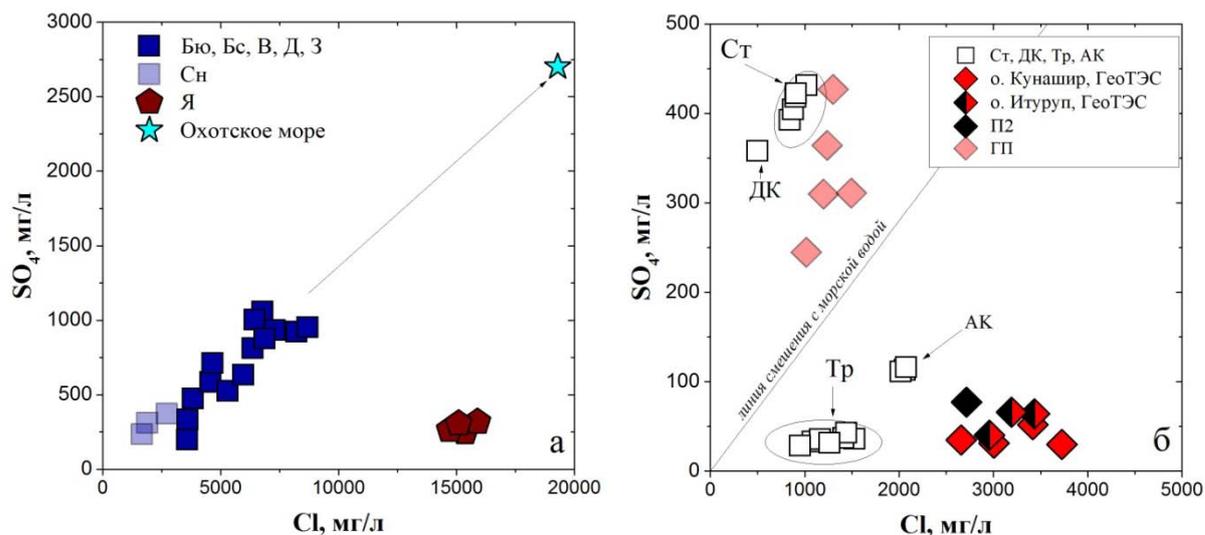


Рис. 2. Соотношение Cl к SO<sub>4</sub> в Na-Cl-водах Курильских островов. Шифры термальных полей и источников соответствуют таблице.

Термальные воды, разгружающиеся в кратере вулкана Ушишир, не входят ни в одну группу. Для них характерна самая высокая минерализация (до 26 г/л) при температуре на выходе близкой к кипению (95–97°C), кислый pH~4. Воды малодебитных водно-грязевых котлов имеют хлоридный натриевый состав, с концентрациями хлор-иона, близкими к морским (рис. 2а). Содержания сульфат-ионов при этом значительно ниже, чем в морской воде. В катионной составляющей, помимо ионов натрия, присутствуют Ca<sup>2+</sup> и K<sup>+</sup>. Концентрация Mg<sup>2+</sup> минимальна.

### Заключение

Основная часть термальных вод, разгружающихся на Курильских островах относится к трем гидрохимическим группам: а) кислые сульфатные воды; б) кислые хлоридно-сульфатные (сульфатно-хлоридные) воды; в) близонейтральные хлоридные натриевые воды.

Кислые хлоридно-сульфатные (сульфатно-хлоридные) воды делятся на несколько групп с определенными весовыми соотношениями основных анионов. Для источников вулканов Эбеко, Берга и Баранского характерно преобладание SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> с Cl/SO<sub>4</sub> ~ 0,3. В водах данной группы вулканов Синарка, Менделеева и Головнина доминирует Cl-ион с Cl/SO<sub>4</sub> ~ 1,7.

Среди близонейтральных хлоридных натриевых вод только береговые источники о. Шиашкотан и о. Расшуа имеют средние весовые отношения Cl к SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, близкое к морскому (Cl/SO<sub>4</sub>~9).

Авторы искренне признательны Котенко Л.В., Тарасову К.В. и Тарану Ю.А. за неоценимую помощь в совместных полевых исследованиях на Курильских островах.

### Список литературы

1. Иванов В.В. О происхождении и классификации современных гидротерм // Геохимия. 1960. № 5. С. 443–449.
2. Калачева Е.Г., Таран Ю.А., Волошина Е.В., Котенко Т.А. Геохимия термальных вод о. Кетой (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 3. С. 21–35.
3. Набоко С.М. Вулканические эксгаляции и продукты их реакции // Труды Лаборатории вулканологии. 1959. № 16. С. 170–198.
4. Таран Ю.А., Знаменский В.С., Юрова Л.М. Геохимическая модель гидротермальных систем вулкана Баранского (о-в Итуруп, Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4/5. С. 95–115.