

Кислые хлоридно-сульфатные воды вулкана Синарка (о. Шиашкотан)

Калачева Е.Г., Коленко Т.А., Волошина Е.В.

Acidic chloride-sulfate waters of the Sinarka volcano (Shiashkotan Island)

Kalacheva E.G., Kolenko T.A., Voloshina E.V.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: keg@kscnet.ru

Дается представление о кислых сульфатно-хлоридных водах, разгружающихся на северо-западном склоне активного вулкана Синарка (о. Шиашкотан). Рассмотрены особенности макро- и микроэлементного состава вод на пяти термальных площадках, взаимосвязь и условия формирования отдельных групп источников.

Шиашкотан – один из островов Большой Курильской дуги (рис. 1а, б). Его основными морфологическими структурами являются два многоцентровых вулканических массива среднего плейстоцена-голоцена: Синарка и Кунтоминтар. Активный вулкан Синарка входит в одноименный массив, формирующий северную часть острова. Массив вытянут на 11 км в субмеридиональном направлении (при ширине 5-8 км), состоит из 20 лавовых стратовулканов и эффузивных куполов разной степени сохранности. Из кратера вулкана выступает молодой экструзивный купол извержения 1878 г. [1], проявляющий активную фумарольную деятельность. Постройка вулкана вмещает Северо-Шиашкотанскую гидротермальную систему, поверхностные проявления которой представлены разнообразными по химическому составу термальными источниками и парогазовыми выходами [2, 5].

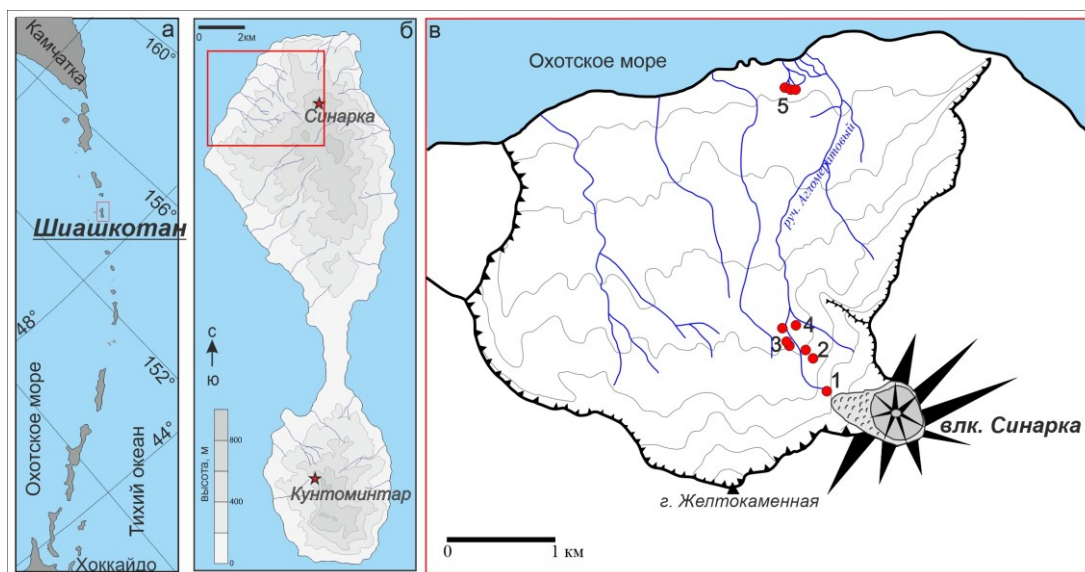


Рис. 1. Схема расположения термальных источников Центрального экструзивного купола вулкана Синарка. Номерами показаны термальные площадки.

Основная разгрузка кислых хлоридно-сульфатных вод сосредоточена на северо-западном склоне в эрозионной кальдере на нескольких площадках, расположенных на разном удалении от центрального экструзивного купола (ЦЭК) (рис. 1в). Все группы источников объединяются в единое термальное поле [4].

Всего здесь можно выделить пять обособленных основных площадок в диапазоне высот 380-500 м над уровнем моря. Термальные площадки 1-3 расположены по бортам истока руч. Агломератовый. Площадка 1 находится у подножия экструзивного купола на высоте 500 м над уровнем моря в полосе размером 20×50 м (рис. 2а). В 250-300 м к северо-востоку от нее на правом пологом борту промоины глубиной около 10 м расположена площадка 2 (рис. 2б). Ниже по течению, на левом крутом склоне руч. Агломератовый находится площадка 3 (рис. 2в).

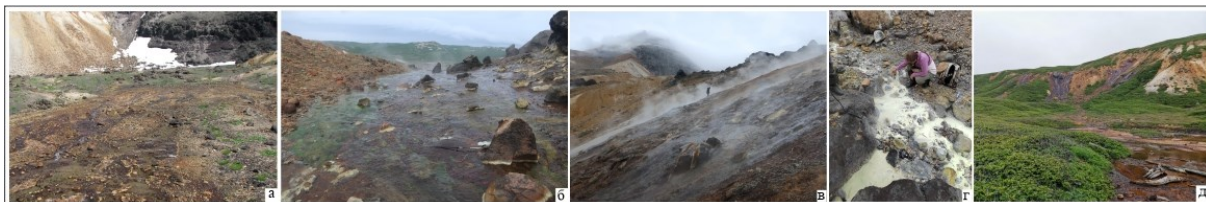


Рис. 2. Термальные площадки ЦЭК: а) площадка 1; б) площадка 2, в) площадка 3, г) площадка 4, д) Общий вид на площадку 5.

Все эти термальные площадки покрыты плащами гидроокислов железа мощностью от 1 до 10 см. Сквозь небольшие проколы в плаще под напором вытекает вода, иногда образуя фонтанчики высотой до 10 см. Русла формирующихся термальных ручейков покрыты термофильными водорослями ярко-зеленого цвета. Судя по площади распространения измененных пород и выцветов солей на площадках, можно предположить, что ранее выходов термальных вод было значительно больше. Температура вод, разгружающихся на данных площадках, составляет 37-52 °С, значения рН варьируют от 2.6 до 3.0, диапазон Eh составляет от +230 до +270 мВ.

Площадка 4 расположена в распадке, берущем начало у подножия экструзивного купола, выжатого несколько севернее ЦЭК (рис. 2г), вблизи устья безымянного ручья. Здесь находятся 2 отдельных источника, сток с которых формирует единый ручей общим дебитом ~2 л/с. Разгрузка термальных вод на поверхности сопровождается интенсивным осаждением сульфурита. Температура наиболее горячего источника составляет 46.4 °С, рН=2.45, минерализация 3.1 г/л.

Поступление воды с термальных площадок в холодный пресный исток руч. Агломератовый увеличивает его расход в 3 раза и обогащает его минеральными компонентами. На более низких отметках ручей принимает еще нескольких притоков, сформированных выходами минерализованных (до 1.5 г/л) кислых (рН=3.5) относительно холодных (Т=10-12 °С) вод.

Термальная площадка 5 находится на значительном расстоянии от основной зоны разгрузки, в 300 м к юго-западу от основного русла руч. Агломератовый, в приустьевой зоне. На расстоянии 200-250 м от берега Охотского моря на высоте 22-25 м находятся 10 источников, сток с которых образует 3 ручья, сливающиеся в единый поток (рис. 2д), впадающий в море. Температура воды в источниках достаточно низкая (14-16 °С), рН=2.9, минерализация достигает 2.4 г/л.

Химический состав вод

Макрокомпоненты. Отдельные результаты химических анализов водных проб термальных площадок ЦЭК вулкана Синарка представлены в таблице.

Таблица. Химический состав кислых термальных вод вулкана Синарка, мг/л

Место отбора	Т, °С	рН _{лаб}	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Fe _{общ}	Mn	B	SiO ₂	М, г/л
Пл1	44.2	2.87	0.79	2247	1512	368	23.4	419	413	19.5	187	32.9	7.56	196	5.43
Пл2	34.6	2.79	0.41	1299	2103	240	12.0	458	263	108	66.0	18.8	5.61	195	4.77
Пл3	42.1	2.82	0.50	2071	1597	369	24.0	485	420	5.6	179	34.3	6.64	185	5.38
Пл4	46.4	2.45	1.16	527	1716	171	13.5	258	124	58.4	1.82	9.34	5.90	172	3.06
Пл5	14.5	2.99	2.61	219	1193	107	6.58	468	89	41.3	14.7	2.84	2.67	97.0	2.24

Все разгружающиеся на термальных площадках 1-5 воды имеют кислую реакцию (рН<3), достаточно высокую минерализацию (до 5.4 г/л). Исследуемые воды относятся к Cl-SO₄-типу с низким содержанием фтор-ионов. На треугольной диаграмме анионного состава (рис. 3а) все точки вытянуты вдоль Cl-SO₄ линии, попадая в область

распространения «смешанных вод» [6]. Самое высокое SO_4/Cl отношение наблюдается в водах источников площадок 4 и 5, самое низкое – в выходах площадок 1 и 3 (рис. 3б).

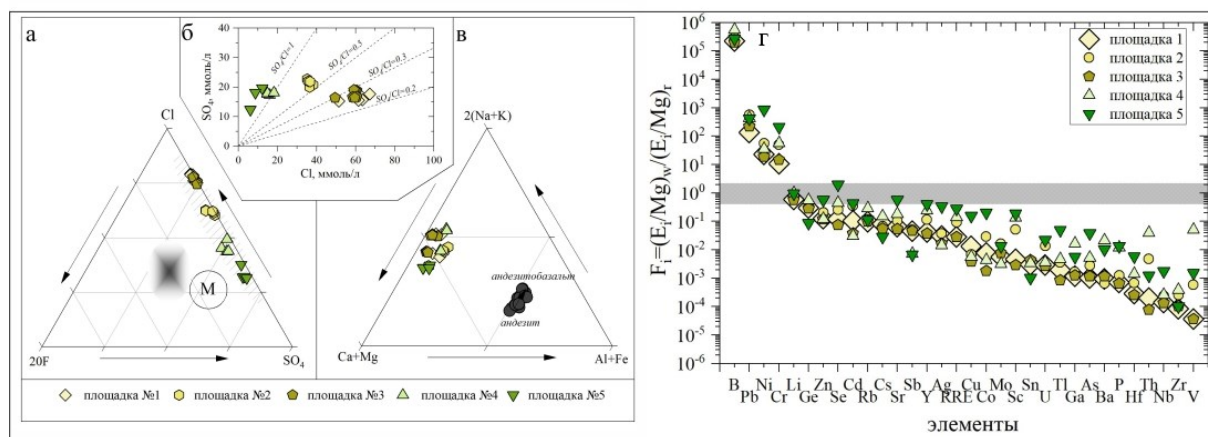


Рис. 3. Химический состав кислых вод ЦЭК вулкана Синарка: а) анионы; б) отношение SO_4/Cl ; в) катионы; г) микроэлементы.

Соотношение катионов во всех источниках близкое. Точки на графике (рис. 3в) концентрируются вблизи оси $Na+K/Ca+Mg$ с отношением близким к породному. Однако в водах наблюдаются низкие значения Al и Fe , что связано с пограничным pH , при котором происходит осаждение вторичных минералов, содержащих эти элементы. Проведенное геохимическое моделирование состояния насыщения вод по отношению к наиболее распространенным для кислых условий минеральным фазам показало, что все исследуемые термальные источники при температуре отбора перенасыщены по отношению к различным модификациям кремнезема (кварц, халцедон, кристобалит и др.) и близки к равновесию с баритом. По отношению к другим сульфатным минералам (ангидрит, целестин, гипс, эпсомит, алунит), окислам и гидроокислам алюминия и железа (диаспор, бемит, гиббсит, гетит и др.) наблюдается недосыщение.

Микроэлементы. Из группы сидерофильных элементов, помимо железа, концентрация которого позволяет отнести его к макрокомпонентам, в водах источников в небольших количествах обнаружены Ni , Co , Cu , Cr , Mo . Максимальные концентрации никеля, кобальта и меди в близких значениях (20-25 мкг/л) определены в источниках пятой площадки, тогда как на других участках их значения в среднем не превышают 2-4 мкг/л. Среди определенных халькофильных элементов в исследуемых водах максимальные концентрации характерны для Zn (0.27-0.29 мг/л). Содержания других элементов этой группы (As , Pb , Cd , Tl , Sn , Sb) в термальных водах не превышают первого десятка мкг/л. Литофильные микроэлементы в малых концентрациях широко распространены в исследуемых источниках. Содержания Li , Rb , Sc , Ti , Ba не превышают 100 мкг/л, среднее количество Cs , Ga , Ge , Be , Zr составляет 1-30 мкг/л.

Для сравнения редких элементов в водных пробах, полученных на разных площадках, использованы «обогащенные» коэффициенты переноса элементов, нормированные по магнию как наименее подвижному элементу в кислых условиях. Распределение элементов показано в соответствии с убыванием значений в термальных водах площадки 1 (рис. 3г). Хорошо видно, что точки вод площадок 2 и 3 имеют схожее распределение, тогда как для двух других площадок наблюдается больший разброс. В целом, для всех образцов характерен общий нисходящий тренд. Выше единицы находятся только бор и свинец, легко переносимые парогазовой смесью, а также никель и хром. Обращает на себя внимание отсутствие характерного для ультракислых вод горизонтального расположения каких-либо элементов на линии конгруэнтного растворения породы ($F_i = 1$). Практически без перегиба ветвь снижается, что также может быть связано с попутным осаждением редких и рассеянных элементов с железосодержащими минералами, преимущественно окислами и гидроокислами.

Заключение

Кислые вулканические воды вулкана Синарка, разгружающиеся на разном удалении от его ЦЭЖ, представляют собой разгрузку единого горизонта ультракислых вод, формирующихся за счет поглощения магматических газов подземными водами близповерхностной циркуляции. Доля магматической компоненты для этих вод не превышает 20 % [3]. Термальные источники имеют близкие значения pH, температуры и минерализации, но различаются по отношению SO_4/Cl , содержанию Al и Fe и микроэлементному составу. Основные различия в геохимии вод связаны с различной скоростью и объемами осаждения вторичных минеральных фаз при выходе подземных вод на поверхность. Термальные воды, разгружающиеся на пятой площадке, имеют наиболее продолжительный фильтрационный путь. За счет смешения с холодными грунтовыми водами происходит снижение температуры и минерализации, дополнительное взаимодействие с гидротермально-измененными породами, слагающими кальдеру, приводит к трансформации химического состава воды.

Список литературы

1. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
2. Калачева Е.Г., Котенко Т.А., Котенко Л.В., Волошина Е.В. Геохимия термальных вод и фумарольных газов о. Шиашкотан (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2014. № 5. С. 1-15.
3. Калачева Е.Г., Таран Ю.А. Процессы, контролирующие изотопный состав ($\delta^{18}O$ и δD) термальных вод Курильской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2019. № 4. С. 3-17. <https://doi.org/10.31857/S0203-0306201943-17>
4. Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.
5. Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T. Geochemistry and solute fluxes of volcano-hydrothermal systems of Shiashkotan, Kuril Islands // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. V. 296. P. 40-54. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.010>
6. Taran Y., Kalacheva E. Acid sulfate-chloride volcanic waters; Formation and potential for monitoring of volcanic activity // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2020. V. 405. Art. 107036. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.107036>