

УДК 551.21

Т. А. Котенко, Е. Г. Калачёва, Л. В. Котенко

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский, e-mail: kotenko@sakhalin.ru*

## Состояние вулкана Кунтоминтар (о. Шиашкотан, Курильские о-ва) в 2011 г.

Приводятся сведения о современном состоянии активного кратера вулкана Кунтоминтар, о. Шиашкотан. Полученные данные о составе, температуре газов вулкана Кунтоминтар и мощности его тепловой разгрузки позволяют предположить, что вулкан находится в стадии активизации фумарольной деятельности.

### Введение

Шиашкотан — один из островов Онекотанского блока Большой Курильской дуги (рис. 1) длиной 26 км. Одним из основных морфологических структур острова является многоцентровой вулканический массив среднего плейстоцена-голоцена Кунтоминтар. В строении вулканического массива отмечена [5] смена вверх по разрезу переслаивающихся толщ лавовых и пирокластических потоков базальтового, андезитобазальтового и андезитового составов.

В истории формирования массива выделены три этапа [5]. На начальном этапе была сформирована первая сомма. Второй этап завершился образованием вершинных взрывных кальдер. Активность вулкана в голоценовый период проявилась в возникновении центрального, южного и северо-восточного кратеров в вершинной кальдере. Направленные взрывы центрального кратера сыграли основную роль в формировании Западной котловины-кальдеры (рис. 1), в нём сосредоточены проявления современной гидросольфатарной деятельности вулкана Кунтоминтар.

Развитие четвертичного вулканизма на о. Шиашкотан сопровождалось интенсивными тектоническими и вулкано-тектоническими движениями. Одним из наиболее выраженных радиальных разломов является северо-восточный разлом на вулкане Кунтоминтар. Он возник в голоцене и протягивается от вершины до подножия вулкана, к нему приурочен северо-восточный взрывной кратер и глубокий каньон, выработанный руслом ручья [5]. В вершине этого каньона во время полевых работ в июне-июле 2011 г. авторами были обнаружены термальные проявления, ранее не наблюдавшиеся. Термальная разгрузка представляет собой две парогазовые струи (рис. 2), трассируемые трещиной на северо-западном склоне ущелья на 50 м выше дна, на высоте над у.м. около 400 м. Скорость верхней более сильной струи около 10 м/с. К сожалению, подойти к фумаролам не удалось из-за большой крутизны и глубины ущелья.

### Результаты работ и их обсуждение

Наблюдения за фумарольной активностью вулкана Кунтоминтар проводились во время полевых работ в июне-июле 2011 г. В центральном кратере выходы газов наблюдаются по дну, средним частям стенок кратера, а также в верхней части южной стенки. По сравнению с описаниями термопроявлений кратера, приведёнными в работах [5, 6], локализация их года почти не изменилась (рис. 3). Донные фумаролы: разделение их на отдельные участки диктуется расчленением рельефа руслами ручьёв, врезанными на глубину более 2 м. Этот участок по-прежнему характеризуется наличием большого количества газовых выходов со скоростями на устье от менее 5 м/с до 20–35 м/с. Температура газов фумарол, расположенных в руслах ручьёв (F1–F4 на рис. 3) не превышает 156° С, здесь происходит



Рис. 1. Центральная часть массива Кунтоминтар. Вид с запада.



Рис. 2. Фумаролы ниже северо-восточного кратера. Вид с востока. Фото Л. Котенко.

обильное отложение серы с образованием невысоких построек. Газы фумаролы F5, которая представляет собой обугленную трещину длиной 1,5 м, имеют температуру на выходе из устья  $480^{\circ}\text{C}$ .

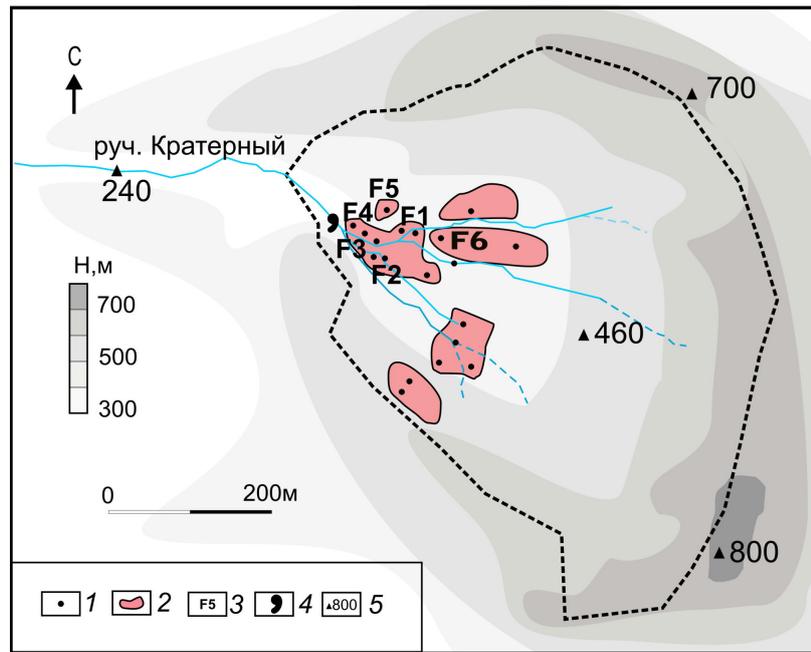
Значительное изменение претерпела группа фумарол F6 (рис. 3), занимающая удлиненный холм. На его гребне и северном склоне толщина серных отложений достигает местами 5 м. Наблюдается более десяти мощных парогазовых струй со скоростью 15–20 м/с, диаметрами выходов 10–30 см, образование серных конусов не происходит. Северная группа фумарол расположена в правом борту кратера и представляет собой одно большое термальное поле без крупных разгрузок. Южная группа состоит из двух площадок: первая — это четыре самостоятельные струи в нижней части склона, вторая площадка находится в верхней части склона на высоте 60–70 м над дном. Это семь мощных выходов газа, не считая слабых струй.

Для отбора фумарольных газов применялся стандартный барботажный жидкостный поглотительный метод отбора в вакуумированные барботёры емкостью 270–300 мл из кварцевого стекла с щелочным поглотителем (4М раствор KOH). Конденсат фумарольного газа отбирался из той же системы в сухой барботёр с принудительной прокачкой газа. Аналитические исследования выполнялись в АЦ ИВиС (аналитики В. Н. Шапарь, И. Ф. Тимофеева). Абсорбированные компоненты ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CO}_2$ ) определялись стандартными методами: потенци-

метрическим, иодометрическим, титрометрическим. Неабсорбированные газы ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{He}$ ) определялись методами газовой хроматографии. Общий химический анализ конденсата газа сделан в АЦ ИВиС ДВО РАН потенциметрическим, объёмным, колориметрическим и атомно-абсорбционным методами.

Газ и конденсат отбирались из фумаролы F5 24 июня 2011 г. Конденсат фумарольных газов центрального кратера вулкана Кунтоминтар по составу относится к хлоридному кальциевому типу вод с минерализацией 1,3 г/л (табл. 1). Катионы находятся в основном в растворенном состоянии и только менее 10% кальция и магния образуют сульфатные аквакомплексы. Конденсат характеризуется значительным содержанием хлор-иона и  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (81 мг/л). В то же время в составе газов (табл. 2)  $\text{HCl}$  содержится в небольшом количестве. Таким образом, наблюдается значительное растворение  $\text{HCl}$  в конденсате. Подчинённое положение хлористого водорода в газовой выделении при исключительной роли соляной кислоты в составе конденсатов отмечается почти на всех активных вулканах [1].

Средний химический состав газа представлен в табл. 2. Для сравнения приводятся данные за 1987 г. (табл. 1.6 из работы [4]). В составе фумарольного газа основным компонентом является вода, далее в порядке убывания следуют  $\text{CO}_2 > \text{H}_2\text{S} > \text{SO}_2 > \text{N}_2 > \text{HCl}$ . На тройной диаграмме относительного содержания  $\text{CO}_2$ - $\text{HCl}$ - $(\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2)$  (рис. 4а) получен-



**Рис. 3.** Схема центрального кратера вулкана Кунтоминтар: 1 — фумаролы, 2 — границы термальных полей, 3 — номера фумарол, 4 — термальный источник, 5 — высота, м. Пунктир — бровка кратера.

**Таблица 1.** Состав конденсата фумарольного газа вулкана Кунтоминтар, мг/л.

Компоненты	мг/л
Cl <sup>-</sup>	887,50
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	97,00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	122,90
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00
∑ анионов	1107,40
H <sup>+</sup>	24,10
Na <sup>+</sup>	0,72
K <sup>+</sup>	1,56
Ca <sup>2+</sup>	76,15
Mg <sup>2+</sup>	4,86
Fe <sup>2+</sup>	<0,05
Fe <sup>3+</sup>	<0,05
Al <sup>3+</sup>	<0,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,00
∑ катионов	16,60
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	80,92
H <sub>4</sub> SiO <sub>4p</sub>	2,32
M <sub>общ.</sub>	1299,03
pH	1,70

ные данные ложатся вблизи вершины CO<sub>2</sub>. Компонентный состав газов далёк от состава высокотемпературных газов андезитовых вулканов. В стороне остаются и газы склонов вулкана Эбеко: как низкотемпературные, так и среднетемпературные (для

них наблюдаются более высокие относительные содержания газов серы и хлора). Газы вулкана Кунтоминтар образуют общую группу с высокообводнёнными фумаролами кратеров вулкана Эбеко и вулкана Белый Остров.

Отношение CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O составляет для вулкана Кунтоминтар 0,013–0,016 — это меньше значений, характерных для высокотемпературных вулканических газов обстановок субдукции островных дуг (0,02–0,12) [8], что может быть объяснено разбавлением исходного магматического флюида при подъёме к поверхности.

Для оценки генезиса газов обычно рассматриваются отношения компонентов N<sub>2</sub>-Ar-He. Состав газовых проб, вынесенный на тройную диаграмму N<sub>2</sub>-Ar-He (рис. 4б), ложится вблизи линии N<sub>2</sub>-Ar в области отношений, характерных для воздуха или метеорных вод, насыщенных воздухом. В отличие от газов вулкана Эбеко и высокотемпературных газов андезитовых вулканов Японии, не наблюдается тренд ни к первичному вулканическому газу, ни к субдукционной компоненте. Среднее отношение N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> равно 4,5 и несколько выше воздушного, что характерно для окислительных обстановок.

Магматические флюиды в процессе подъёма к поверхности и остывания проходят через перераспределение компонентов как в результате взаимодействия составляющих друг с другом, так и с окружающими породами и с гидротермами близповерхностного формирования. Главными переменными факторами, контролирующими химический состав гидротермальных растворов, являются: температура, давление, окислительно-восстановительный (редокс) потенциал [8]. Предполагаемые траекто-

Таблица 2. Средний состав фумарольного газа вулкана Кунтоминтар, мол. %.

Дата отбора	Без H <sub>2</sub> O										
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	HCl	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	He
26 июня 2011 г.	80,31	9,30	7,81	0,42	0,00014	0,0012	0,0017	1,743	0,391	0,028	0,00017
1987 г. *	71	27**		1,56	—	0,03	0,41	—	—	—	—

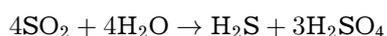
Дата отбора	T° C	H <sub>2</sub> O	S/Cl	S/C	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub>
26 июня 2011 г.	480	98,24	37,48	0,21	49 969
1987 г. *	155	93,51	17,2	0,38	175,4

\* Данные из [4],

\*\* Собщ.

рии остывания исходного магматического флюида представляются в координатных сетках: редокс-отношения для газов ( $\log f$ )- $T$  — линии равновесных минеральных реакций (породные буферы) [8]. Рассчитанные редокс-отношения показаны на рис. 5.

Редокс — отношения для влк. Кунтоминтар для пар H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub> и CO/CO<sub>2</sub> (рис. 5а и 5б, соответственно) контролируются соперничеством газового буфера и магнетит-гематитового породного буфера. Однако их значения оказались более характерными для низкотемпературных газов (поле значений для влк. Эбеко). Рассмотрим главную пару элементов, наиболее точно отражающую изменения окислительно-восстановительных условий, то есть H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O. На рис. 4в положение точек влк. Кунтоминтар предполагает наличие преимущественно жидкой гидротермальной системы [8], когда при поглощении магматических летучих компонентов подземными водами, происходит образование очень агрессивных растворов. На контакте с жидкой фазой воды SO<sub>2</sub> — главный компонент магматической фазы летучих компонентов, распределяется в соответствии с реакцией:



в H<sub>2</sub>S и зависящие от кислотности сульфаты, такие как H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>, или SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. В этом случае редокс условия будут контролироваться сосуществованием H<sub>2</sub>S с этими соединениями, а не с SO<sub>2</sub>. Позиция результирующего буфера H<sub>2</sub>S — сульфатный раствор согласно [8] зависит от кислотности. Редокс-отношения влк. Кунтоминтар ложатся вблизи линии равной активности H<sub>2</sub>S — сульфат (рис. 4в) для значения pH = 3. В кислых растворах изомолярное сосуществование H<sub>2</sub>S и сульфатов должно удерживать редокс потенциалы на достаточно низком уровне [8].

Наблюдения за высотой подъема фумарольных струй из кратера были использованы для расчёта их теплового потока по номограмме С. А. Федотова [7], который составил в среднем 40 МВт. В табл. 3 приведены величины выноса основных компонентов фумарольными струями, рассчитанные по составу и расходу газа.

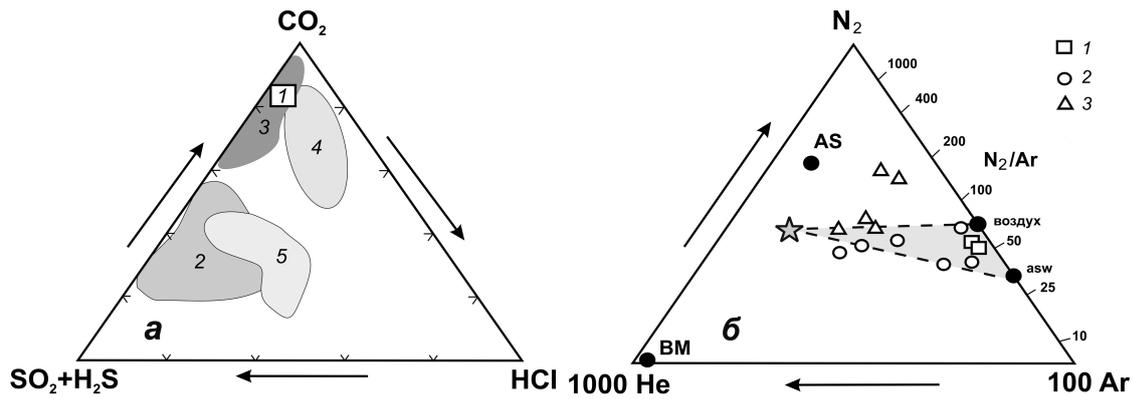
Таблица 3. Вынос компонентов в составе фумарольного газа вулкана Кунтоминтар.

Компонент	мол. %	вес. %	т/сутки
H <sub>2</sub> O	98,24	95,81	9412
CO <sub>2</sub>	1,41	3,35	4,7
SO <sub>2</sub>	0,14	0,48	0,067
			кг/сутки
HCl	0,007	0,014	0,09
H <sub>2</sub> S	0,16	0,295	47
N <sub>2</sub>	0,03	0,023	0,68
O <sub>2</sub>	0,007	0,012	0,084
Ar	5 · 10 <sup>-4</sup>	0,001	5 · 10 <sup>-4</sup>
CH <sub>4</sub>	2 · 10 <sup>-5</sup>	3 · 10 <sup>-5</sup>	6 · 10 <sup>-7</sup>
H <sub>2</sub>	3 · 10 <sup>-5</sup>	3 · 10 <sup>-6</sup>	9 · 10 <sup>-8</sup>
He	3 · 10 <sup>-6</sup>	6,5 · 10 <sup>-7</sup>	2 · 10 <sup>-9</sup>

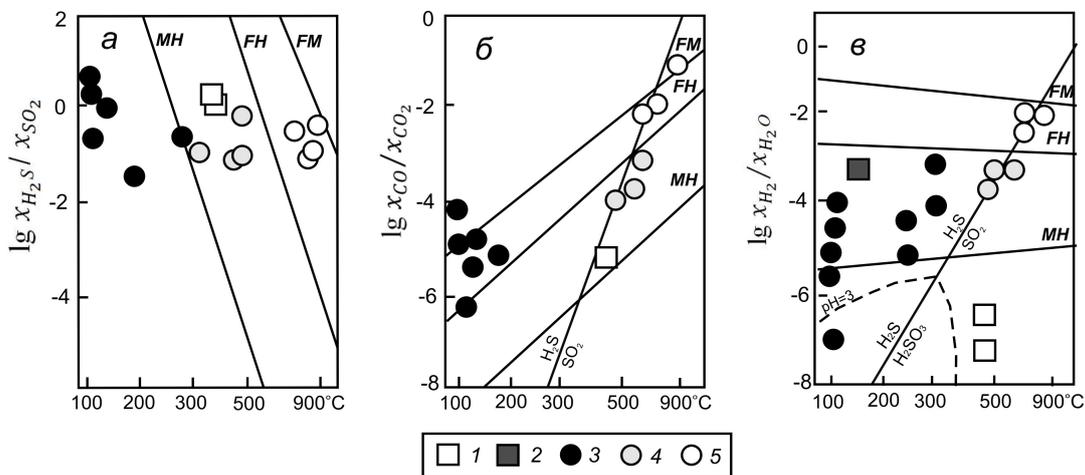
### Заключение

В настоящее время поверхностные проявления Кунтоминтарской гидротермальной системы ограничены двумя термальными полями. Основная разгрузка осуществляется в виде мощных парогазовых струй в центральном кратере вулкана. Основываясь на проведённых геохимических исследованиях можно сделать вывод, что газы вулкана Кунтоминтар имеют магматическое происхождение: их конечный состав сформирован в результате медленного подъёма флюида к поверхности и значительного разбавления метеорной водой в близповерхностных условиях. Полученные данные: высокая температура газов на поверхности (480° C), ряд повышенных прогностических отношений — S/Cl, S/C, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> (табл. 2), считающихся предикторами извержений для андезитовых вулканов [3, 9], появление нового участка термальной разгрузки — позволяют предположить, что вулкан находится в стадии активизации фумарольной деятельности.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ДВО РАН 09-III А-08-423 и 11-III Д-08-044.



**Рис. 4.** Диаграммы газового состава: а – в координатах  $\text{CO}_2$ - $\text{HCl}$ - $(\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2)$ . Обозначения: 1 – влк. Кунтоминтар; 2 – влк. Эбеко в преэруптивных периоды, 3 – влк. Эбеко, фумаролы кратеров и высокообводнённых подножий склонов, 4 – влк. Эбеко, склоны, 5 – активные андезитовые вулканы по [4, 10]; б – диаграмма Гиггенбаха [8] относительного содержания  $\text{N}_2$ - $\text{Ar}$ - $\text{He}$ : 1 – влк. Кунтоминтар; 2 – влк. Эбеко, 3 – высокотемпературные газы андезитовых вулканов Японии [10],  $\text{BM}$  – базальтовая мантия,  $\text{AS}$  – субдуцированный андезит, звездочка – состав первичного газа по [10],  $\text{ASW}$  – насыщенная воздухом грунтовая вода.



**Рис. 5.** Вариации значений редокс-отношений для фумарольных газов и вмещающих пород в зависимости от температуры на поверхности для отношений: а –  $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ , б –  $\text{CO}/\text{CO}_2$ , в –  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ . Данные для вулканов: 1 – влк. Кунтоминтар в 2011 г., 2 – влк. Кунтоминтар в 1987 г. по [4], 3 – влк. Эбеко (данные авторов), 3 – влк. Белый Остров, Папандаян [8], Кудрявый [4], 5 – влк. Момотомбо, Кудрявый, Августин [4]. Обозначения буферов:  $\text{FM}$  – файялит-магнетитовый,  $\text{FH}$  – файялит-гематитовый,  $\text{MH}$  – магнетит-гематитовый,  $\text{H}_2\text{S}$ - $\text{SO}_2$  – газовый изомоляльного сосуществования серных газов.

### Список литературы

1. Басков Е. А., Суриков В. Н. Гидротермы Земли. Л.: Недра, 1989. 89 с.
2. Горшков Г. С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
3. Котенко Т. А., Котенко Л. В., Сандимирова Е. И. и др. Эруптивная активность вулкана Эбеко в 2010–11 гг. (о-в Парамушир). // Вестник КРАУНЦ. Серия «Науки о Земле». 2012. № 1. Вып. 19. С. 160–167.
4. Новейший и современный вулканизм на территории России Отв. ред. Лавёров Н. П.. М.: Наука, 2005. 604 с.
5. Стратула Д. С. Вулканы и горячие источники о. Шиапшкотан. Автореферат дис. канд. геол.-мин. наук. Петропавловск-Камчатский, 1969. 20 с.
6. Чирков А. М., Барабанов Л. Н., Башарина Л. А., Зеленов К. К. Состояние некоторых вулканов Курильских островов летом 1970 г. // Бюллетень вулканологических станций. № 48. Москва: Наука, 1972. С. 33–39.
7. Федотов С. А. Оценки выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3–28.
8. Giggenbach W. F. The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems // Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3rd edition. New York. 1997. P. 737–796.
9. Menyailov I., Nikitina L., Shapar V. Geochemical monitoring of state of some active volcanoes in Kamchatka and the Kuril Islands (USSR) // Per. Miner. 1986. Vol. 55. № 1. P. 55–74
10. Shinihara H., Giggenbach W. F., Kazahya K., Hedenquist J. W. Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma-Iwojima, Japan; Following Matsuo // Geochemical Journal. 1993. Vol. 27. P. 271–285.