

Вынос магматических летучих вулкано-гидротермальными системами Курильских островов.**Е.Г. Калачева¹, Ю.А. Таран^{1,2}**¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН**683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9, e-mail: keg@kscnet.ru*²*Институт Геофизики Национального университета Мексики, г. Мехико*

В межэруптивные периоды за счет фумарольной активности вулканов в атмосферу поступают значительные количества летучих компонентов. Количественные оценки этих потоков рассчитываются путем дистанционного измерения потока SO_2 , а также прямого опробования фумарольных газов или используя систему МультиГаз (MultiGas). В работах [3, 4] с помощью косвенных оценок показано, что значительная часть магматических летучих может поступать в атмосферу и гидросферу также через гидротермальные системы, приуроченные к активным вулканам. При поглощении подземными водами вулканических газов (SO_2 и HCl) в близповерхностных условиях образуются минерализованные кислые термальные растворы $\text{SO}_4\text{-Cl}$ или Cl-SO_4 составов, которые разгружаются на склонах вулканических построек ниже фумарольных полей, вынося магматические хлор и серу в виде хлор- и сульфат-ионов. В пределах Курильской островной дуги, практически на каждом крупном острове расположены от одного до трех вулканов, вмещающих подобные гидротермальные системы.

Предварительная оценка общей гидротермальной разгрузки магматических Cl и S шести гидротермальных систем Курильских островов, приуроченных к вулканам Эбеко (о. Парамушир), Кунтоминтар и Синарка (о. Шиашкотан), Кетой (о. Кетой), Менделеева и Головнина (о. Кунашир) сделана в [1]. В работе [5], на примере Курильской островной дуги, показана роль гидротермальных потоков в балансе летучих зон субдукции.

В данном докладе мы представляем обобщающие данные по выносу магматических летучих наиболее крупных из исследованных нами в 2014-2017 гг. гидротермальных систем Курильских островов, связанных с активными вулканами: Эбеко (о. Парамушир), Синарка и Кунтоминтар (о. Шиашкотан), Пик Палласа (о. Кетой), Берга (о. Уруп), Менделеева и Головнина (о. Кунашир). Приводится сопоставление оцененного нами гидротермального потока летучих Курильской островной дуги с фумарольным и с аналогичными данными для Японских островов.

Результаты исследования

Опробование и измерение расходов рек, дренирующих термальные поля, проводились на шести Курильских островах (рисунок) в 2014-2017 гг. Дополнительно изучены более 30 водотоков, дренирующих склоны вулканических хребтов о. Парамушир. Измерения физико-химических параметров речных вод (pH, Eh, количество растворенных солей и температура, °C) проводились непосредственно в точках отбора проб с помощью портативного анализатора Multi 340i/SET немецкой фирмы WTW. Для определения расхода водотоков использовался цифровой измеритель скорости потоков FP311 фирмы GlobalWater (США). Определение концентраций Cl и SO_4 в водных пробах выполнялось в лаборатории постмагматических процессов ИВиС ДВО РАН на ионном хроматографе Metrohm 883 (аналитик Волошина Е.В.).

В табл. 1 приведены рассчитанный вынос Cl (как Cl^-) и S (как SO_4^{2-}) для рек, в составе вод которых были выявлены избыточные концентрации Cl^- по отношению к фоновым значениям. Наименее минерализованные речные воды острова содержат

достаточно высокое количество Cl^- -ионов ~ 5 мг/л, что связано, возможно, с влиянием морских вод. Морские аэрозоли попадают на сушу с частыми ветрами и туманами.

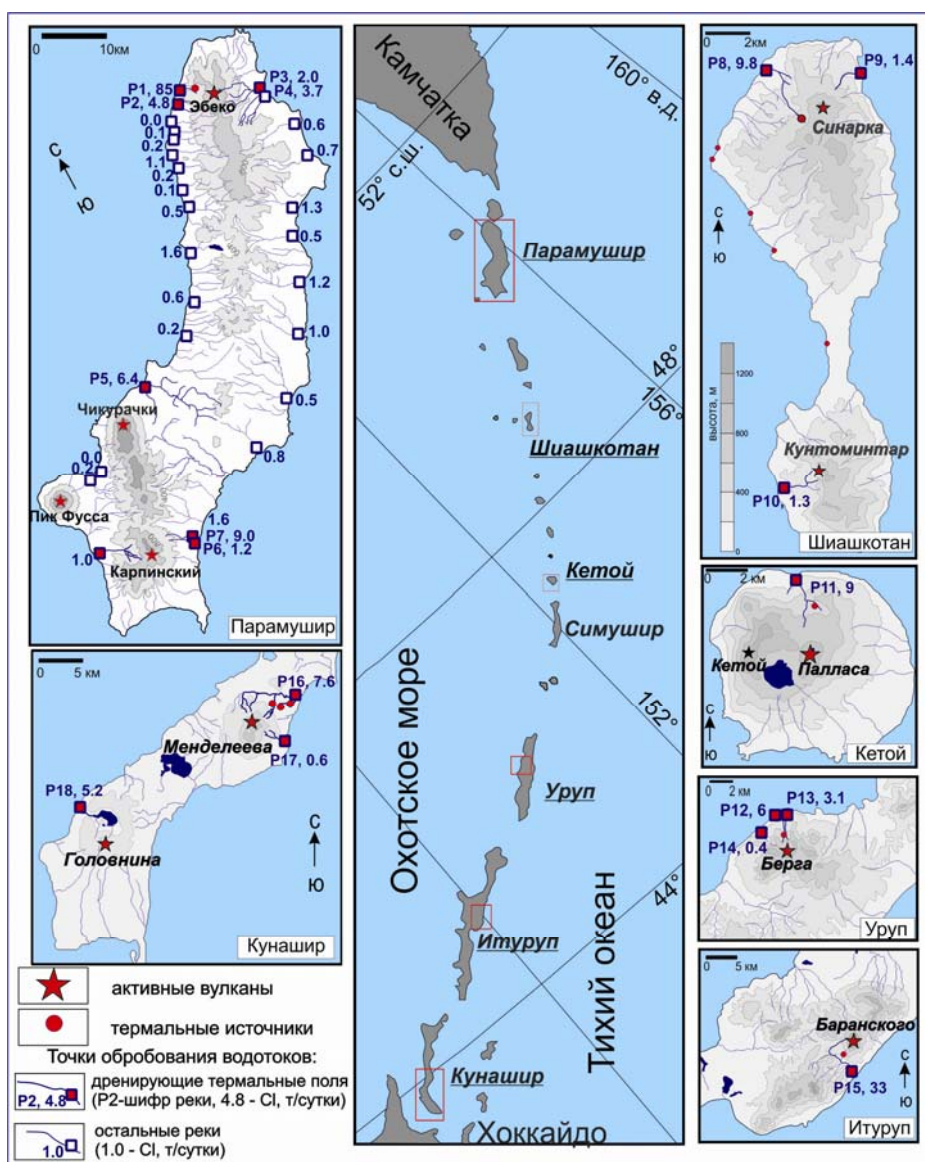


Рисунок. Схема Курильских островов с точками отбора водных проб. Шифры рек, денирующие термальные поля активных вулканов соответствуют табл. 1.

Как было уже отмечено [1], распределение потоков по отдельным гидротермальным системам вдоль Курильской дуги неравномерно. Наибольшие величины отмечены для северного о. Парамушир. Гидротермальной системой, связанной с вулканом Эбеко и дренируемой р. Юрьева ежедневно выносятся в Охотское море ~ 80 т/сутки Cl^- .

Общий измеренный вынос хлора речными водами с Курильских островов составляет 230 ± 50 т/день. При этом на реки, не дренирующие термальные поля, но имеющие «избыток» Cl^- -ионов приходится $\sim 20\%$ от общего выноса.

Измеренный гидротермальный поток серы (в пересчете на S) составляет 410 ± 80 т/сутки. Мы полагаем, что эта оценка сильно занижена. Если хлор является консервативным элементом, то сера может теряться как при рекомбинации SO_2 и в виде H_2S , так и за счет осаждения элементарной серы и серосодержащих минералов (ангидрит, алунит и др.) при выходе термальных вод на поверхность.

Таблица 1. Вынос Cl и S реками Курильских островов

шифр	Река	Остров	Q, м ³ /с	pH	Cl, мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl, т/сутки	S, т/сутки
P1	Юрьева	Парамушир	2,1	1,8	480	1433	85	84
P2	Горшкова		2,0	3,1	28	115	4,8	6,5
P3	Кузьминка		0,8	4,0	19	47	1,3	1,1
P4	Птичья		3,2	4,2	25	82	6,9	7,5
P5	Тайна		4,1	7,1	18	72	6,4	8,5
P6	Галочкина		1,2	4,1	17	41	1,7	1,4
P7	Трудная		1,2	4,1	84	147	9,0	5,2
	Другие реки		98				22,7	121
P8	Агломератовый	Шиакотан	0,2	3,8	475	1640	9,8	11,3
P9	Серный		0,1	7,4	118	316	1,4	1,3
P10	Кратерный		0,2	3,5	78	721	1,3	4,2
P11	Водопадный	Кетой	0,6	4,6	165	474	9,0	8,6
P12	Марья	Уруп	0,2	3,7	287	648	6,0	4,5
P13	Дарья		0,2	3,6	163	521	3,1	3,3
P14	Дайковый		0,2	5,1	23	555	0,4	3,2
P15	Серная*	Итуруп	12,0	2,9	33	98	33,0	11
P16	Лесная	Кунашир	1,1	5,4	80	71	7,6	2,2
P17	Четверякова		0,4	4,1	18	104	0,6	1,1
P18	Озерная		0,6	2,9	109	162	5,2	2,6

Примечание. * - из [2]

Фумарольный вынос летучих вулканами Курильской дуги измерялся в 2015-2017 гг. и опубликован в работе [7]. По данным авторов, количество общей серы ($S_{\text{tot}} = \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S}$) и HCl поступающих в атмосферу посредством фумарольной деятельности семи вулканов (Эбеко, Чиринкотан, Кунтоминтар, Синарка, Пик Палласа, Берга и Кудрявый) составляет 990 ± 150 т/сутки и 300 ± 60 т/сутки, соответственно. Измеренный нами гидротермальный поток хлор-ионов равен 230 ± 50 т/сутки, это ~80% от вулканического выноса.

Принимая во внимание магматическое (вулканическое) происхождение хлор-ионов в исследуемых водах и используя вулканическое отношение Cl/x, где $x = \text{H}_2\text{O}$, CO_2 , S [7], можно рассчитать общие гидротермальные выносы других летучих Курильской дуги. Для оценки количества H_2O , мы используем среднее дуговое весовое отношение $\text{H}_2\text{O}/\text{Cl}=60$ [6]. Мольное отношение $\text{CO}_2/S_{\text{tot}}$ в высокотемпературных фумаролах Курильской дуги <1 ($0,78 \pm 0,30$). Мольное отношение S_{tot}/Cl , основанное на прямом опробовании [7] составляет $3,5 \pm 1,5$. Мы полагаем, что и гидротермальный вынос соответствует данной пропорции и в пересчете на вулканические пропорции составляет не менее 820 т/сутки.

В Таблице 2 сведены оценки гидротермального выноса летучих, полученные в ходе прямого опробования (для Cl) и расчетным путем (для H_2O , CO_2 , SO_2) в сравнении с литературными данными.

В работе [3] сделан детальный анализ современного глобального потока SO_2 и проведено подробное исследование потоков магматических летучих сквозь вулканы и гидротермальные системы Японских островов.

Сравнительный анализ полученных нами данных и данных для Японских островов демонстрирует схожие оценки общих потоков (фумарольный и гидротермальный) летучих (H_2O , CO_2 и Cl). Исключение составляют данные по выносу серы. Это связано с тем, что в работе [3] показаны результаты прямого измерения концентраций SO_4^{2-} в дренирующих водотоках, без пересчета на вулканические пропорции S_{tot}/Cl , как это сделано в нашей работе. При пересчете этих данных (см. Табл. 2) мы получаем схожие оценки и по общему потоку серы.

Таблица 2. Гидротермальный и вулканический поток летучих (моль/км/год *10⁷)

Островная дуга	H ₂ O	CO ₂	S	Cl	Источник
Курильская дуга, гидротермальный	22	0,54	0,69	0,19	
Курильская дуга, вулканический	29	0,71	0,91	0,25	[7]
Курильская дуга, общий	51	1,25	1,60	0,44	
Япония, гидротермальный	22	0,57	0,15	0,23	[4]
Япония, вулканический	29	0,57	0,68	0,14	
Япония, общий	51	1,14	0,83	0,37	
Япония пересчет S	51	1,14	1,76	0,37	

Заключение

Проведенные исследования выявили, что гидротермальный поток летучих (Cl и S) вдоль Курильской дуги неравномерен. Максимальные величины характерны для гидротермальной системы вулкана Эбеко, самой северной из гидротермальной системы Курильских островов. При общем измеренном выносе хлора речными водами с Курильских островов в 230 ± 50 т/день, ~20% приходится на реки, не дренирующие термальные поля, но имеющие «избыток» Cl⁻ ионов из других источников (выщелачивание гидротермально измененных пород, переток термальных вод между водоносными горизонтами). Данное заключение требует дальнейшей проработки.

Измеренный вынос магматических летучих вулкано-гидротермальными системами Курильской островной дуги сопоставим с измеренным выносом вулканических газов фумаролами постоянно дегазирующих вулканов и несомненно должен учитываться при балансовых расчетах магматических летучих вулканических дуг.

Общий (вулканический и гидротермальный) нормализованный вынос близок к рассчитанному для Японских вулканических дуг.

Список литературы

1. Калачева Е.Г., Таран Ю.А. Роль гидротермальных систем Курильской островной дуги в выносе магматических компонентов // Вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский. 2017. С. 169-172.
2. Bragin, I.V., Chelnokov, G.A., Zharkov, R.V. et al. Impact of volcanic fluids on water quality, Baransky volcano, Southern Kuriles. J. Water Recorce and Hydraulic Engineering, 2015. Vol. 4. P. 113-116.
3. Shinohara H. Volatile flux from subduction zone volcanoes: Insights from a detailed evaluation of the fluxes from volcanoes in Japan // J. of Volc. Geoth.l Res. 2013. Vol. 268. P. 46–63.
4. Taran Y.A. Geochemistry of volcanic and hydrothermal fluids and volatile budget of the Kamchatka–Kuril subduction zone // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2009. Vol. 73. P. 1067–1094.
5. Taran Y., Kalacheva E. Role of hydrothermal flux in the volatile budget of subduction zone: Kuril arc, NW Pacific // Geology. 2018. Vol.47. P. 87-90.
6. Taran Y., Zelenski M. Systematics of water isotopic composition and chlorine content in arc-volcanic gases. The Role of Volatiles in the Genesis, Evolution and Eruption of Arc Magmas. Geological Society of London Special Publication. Vol. 472. P. 410–432.
7. Taran Y., Zelenski M., Chaplygin I. et al. Gas emissions from volcanoes of the Kuril Island arc (NW Pacific) // Geochemistry and fluxes: Geochemistry Geophysics Geosystems. 2018. Vol. 19. P. 1859–1880.