

Химическая эрозия вулканических островов (на примере о.Парамушир, Курильские о-ва)**Е.Г.Калачева, Т.А. Котенко, Е.В. Волошина***Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail:keg@kscnet.ru*

На основе результатов гидрохимического опробования и гидрометрических измерений, выполненных в июле 2017 г., дана предварительная оценка силикатного выветривания поверхностными и подземными термальными водами о. Парамушир, составляющая 71 и 700 тонн/км²/год, соответственно.

В результате взаимодействия подземных и поверхностных вод с горными породами происходит химическое преобразование последних. Реакции гидролиза приводят к разрушению пород и выносу элементов из кристаллической решётки минералов. Химическая эрозия вулканических пород в областях недавнего и современного вулканизма островных дуг является одним из наиболее интенсивных силикатных выветриваний. Связанный с этим вынос растворенного вещества (катионы+SiO₂) поверхностными водотокам оказывает влияние на стабильность вулканических построек, а также на химический состав омывающих их морей и океанов. Первая попытка оценить химическую эрозию одного из Курильских островов (о. Шиадокотан) предпринята нами в работе [4]. В докладе впервые представлены количественные характеристики выноса растворенного вещества реками, дренирующими склоны вулканических хребтов, слагающих о. Парамушир.

Остров Парамушир (рисунок), площадью 2042 км², является одним из наиболее крупных Курильских островов. Остров вытянут с юго-запада на северо-восток более чем на 100 км, при средней ширине 20–25 км. Наибольшим превышением над уровнем моря обладает вершина вулкана Чикурачки (1816 м). В пределах острова расположены более десяти вулканов четвертичного возраста, пять из которых (Эбеко, Чикурачки, Татарина, Карпинского и Пик Фусса) являются действующими. Вулканические постройки сливаются своими основаниями и образуют вытянутые вдоль острова хребты Вернадского, Карпинского, Левинсона-Лессинга. Все четвертичные образования сложены породами, имеющими состав от базальтов до андезитов.

Реки острова впадают в Охотское море и Тихий океан. Основными водоразделами служат вулканические хребты, определяющие ориентировку долин рек в широтном направлении. Большая часть рек острова имеют каньонообразные долины, порожистые, с многочисленными водопадами. В устьевых зонах развиты аллювиальные равнины. Исключение составляют реки центральной части острова (например, р. Тухарка), имеющие пологий продольный профиль и относительно спокойное течение. В ходе полевых работ было опробовано 32 наиболее крупных водотока. В таблице приведен их химический состав.

По основным физико-химическим показателям, включая кислотно-щелочные свойства, преобладающий ионный состав и общую минерализацию, воды рек делятся на три группы.

1) Пресные (M<50 мг/л) близнеитальные (рН от 6,5 до 7,5) гидрокарбонатные натриевые (кальциевые). В эту группу входят, в основном, реки, дренирующие центральную (невулканическую) часть острова, и неизменные склоны вулканических хребтов. Питание их осуществляется за счет атмосферных осадков.

2) Кислые до слабокислых сульфатные слабоминерализованные (до 300 мг/л) воды рек, дренирующие гидротермально-измененные склоны вулканических построек или современные сольфатарные поля. В верховьях большинства этих рек есть выходы термальных или холодных кислых минерализованных вод, преимущественно

сульфатного состава, вносящих значительный вклад в формирование химического состава этих рек.

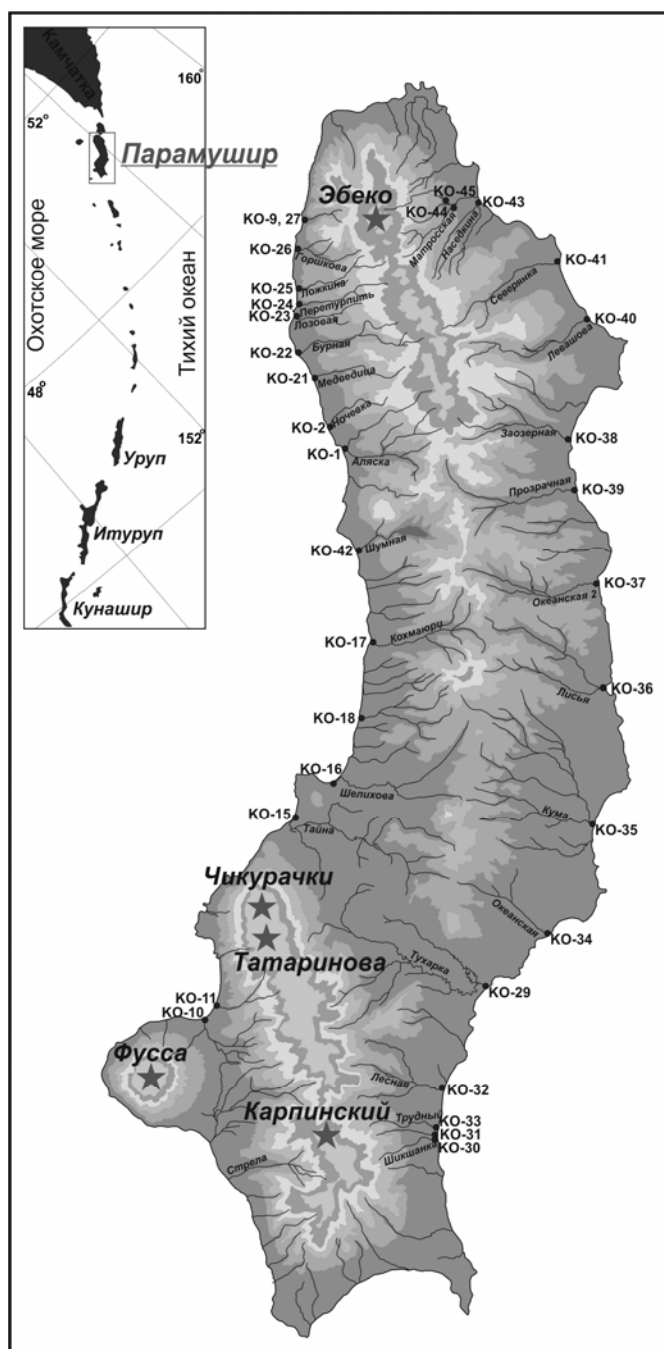


Рисунок. Схема расположения точек опробования.

3) Ультракислые (кислые) сульфатно-хлоридные воды с высоким содержанием катионов, включая $Fe_{\text{общ}}$ и Al^{3+} . К ним относится наиболее изученная из всех рек острова – р. Юрьева, дренирующая Верхне-Юрьевские источники, представляющих собой очаг разгрузки высокоминерализованных термальных вод, формирование которых осуществляется за счет адсорбции вулканических газов в ограниченном горизонте подземных вод [5]. К данным, представленным в таблице, следует добавить концентрации в воде реки Юрьева $Fe_{\text{общ}}$ и Al^{3+} , составляющие 43 и 105 мг/л, соответственно. Кроме того, в данную категорию попадет р. Трудная, дренирующий восточный склон действующего вулкана Карпинского. Повышенные содержания ряда компонентов, включая F^- (1,8 мг/л) и их соотношения, позволяют предполагать

наличие разгрузки кислых сульфатно-хлоридных вод, подобных, но не столь мощных, Верхне-Юрьевским источникам.

Таблица. Химический состав рек о. Парамушир.

Номер (рис.)		T, оС	pH	SiO ₂ мг/л	Na ⁺ мг/л	K ⁺ мг/л	Ca ²⁺ мг/л	Mg ²⁺ мг/л	Cl ⁻ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	HCO ₃ ⁻ мг/л	Q, м ³ /с
КО-1	р. Аляска	6,7	6,85	15	4,4	0,6	6,2	1,4	5,7	14,1	18	7,42
КО-2	р. Ночевка	4,1	4,11	27	3,5	0,6	2,0	1,0	5,7	2,9	15	1,47
КО-10	р. Крашенинникова	5,3	6,42	24	3,6	0,8	4,5	1,1	5,7	10,9	9	3,75
КО-11	р. Аленушкина	4,1	7,49	52	3,2	0,6	7,0	1,1	4,3	22,0	6	0,57
КО-12	ручей1	2,7	5,88	13	3,3	0,5	2,6	0,7	5,3	2,6	9	0,5
КО-13	ручей 2	2,4	7,39	18	3,6	0,7	3,7	0,8	5,0	4,3	20	0,31
КО-14	р. Тайна	8,0	7,08	58	18,6	2,8	25,0	11,8	17,9	71,0	79	4,08
КО-16	р. Шелихова	7,9	7,27	46	64,0	3,0	7,1	7,9	108,0	19,6	31	3,74
КО-17	р. Кохмаюри	9,2	7,37	13	5,2	0,2	7,1	1,6	6,5	8,3	34	4,62
КО-18	ручей	8,9	7,48	26	6,5	0,2	6,7	1,5	7,0	8,6	31	
КО-20	р. Стрела		4,2	27	3,6	0,8	7,9	1,4	6,9	41,0		
КО-21	р. Медведица	3,9	6,36	19	3,7	0,8	2,6	1,1	5,5	1,8	23	4,53
КО-22	р. Бурная	4,0	6,32	40	5,9	1,2	9,2	1,7	7,9	30,0	15	4,28
КО-23	р. Лозовая	4,0	7,02	23	4,3	1,2	3,4	1,1	6,0	6,5	18	3,14
КО-24	р. Перетурпуть	3,7	4,39	31	3,7	0,9	2,5	0,9	5,4	4,2	6	3,25
КО-25	р. Ложкина	4,1	5,16	17	3,3	0,9	4,2	0,9	4,9	22,0	9	1,82
КО-26	р. Горшкова	7,2	3,13	73	9,2	2,6	20,1	5,6	25,0	100,0		1,97
КО-27	р. Юрьева	14,5	1,87	163	49,0	32,0	77,0	31,1	480,0	1433,0		2,04
КО-29	р. Тухарка	9,5	5,53	16	7,3	0,7	7,5	2,0	10,5	17,3	20	13,86
КО-30	р. Шикшанка	5,7	6,79	15	4,6	0,5	3,3	1,0	6,7	14,1	6	1,84
КО-31	р. Галочкина	7,4	4,09	40	6,7	1,1	7,6	3,8	17,1	41		1,16
КО-32	р. Лесная	8,1	5,49	27	8,2	0,9	7,0	2,0	13,9	19,0	21	2,06
КО-33	р. Трудная	13,6	4,11	64	21,6	4,0	34,0	20,3	89,0	147		1,24
КО-34	р. Океанская 1	10,9	7,5	28	5,6	0,5	9,8	1,6	6,9	16,1	336	2,02
КО-35	р. Кума	5,4	6,88	27	6,6	0,6	7,6	1,8	7,7	11,0	31	2,26
КО-36	р. Лисья	5,6	7,37	26	5,9	0,2	7,0	1,7	7,6	13,3	18	4,32
КО-37	р. Океанская 2	8,0	7,31	14	5,4	0,2	8,0	1,6	7,8	12,7	21	3,15
КО-38	р. Заозерная	9,2	3,32	29	5,0	0,9	8,5	1,7	7,1	50		7,15
КО-39	р. Прозрачная	10,3	6,84	17	5,0	0,2	8,8	1,6	6,9	24	12	3,31
КО-40	р. Левашова	9,8	6,27	39	5,8	1,0	15,2	2,6	7,0	60	12	3,78
КО-41	р. Северянка	9,2	4,27	18	4,4	0,7	5,9	1,4	6,6	22	12	4,06
КО-42	р. Шумная	9,3	6,63	19	6,9	0,5	11,3	2,2	10,7	10	31	3,3
КО-43	р. Наседкина	9,4	4,18	31	7,6	1,7	12,5	2,8	18,5	46	11	3,18
КО-44	р. Матросская	7,6	4,2	57	7,0	1,4	11,1	2,1	11,4	44	8	1,6
КО-45	р. Кузьминка	8,1	4,04	46	7,3	1,8	19,1	3,4	25,0	82		0,8
	Дождевая вода		4,84		2,2	0,6	0,6	0,3	2,5	1,2	9	

Различные источники питания определяют различные типы эрозии. Преимущественно атмосферное питание определяет поверхностную эрозию, питание за счет термальных вод – подземную. Для расчетов нами использованы данные, включающие катионы (Na, K, Ca, Mg) и SiO₂ с поправкой на концентрации этих элементов в дождевых водах, а также величины расходов рек (в м³/с) (таблица). Измерение расходов (ошибки измерений, как правило, 10-15% и зависят от сложности створа и величины расхода) проводилось в паводковый период, который продолжается на острове до начала-середины августа. Полученные величины объемов воды, выносимых реками, в среднем в 2–3 раза выше, чем в меженный период [1]. Соотношения и концентрации макрокомпонентов при этом остаются постоянными, а их количество прямо пропорционально объему вод. Диапазон общего содержания

растворенных катионов вместе с SiO_2 в водах рек первого типа по данным измерения 2017 г. составляет от 20 до 40 мг/л. Следовательно, 30 мг/л – это средняя концентрация катионов $+\text{SiO}_2$ в поверхностных водах острова при общем расходе рек этого типа в $69 \text{ м}^3/\text{с}$. Принимая во внимание площадь острова в 2042 км^2 , можно оценить поверхностную эрозию в $33 \text{ тонн}/\text{км}^2/\text{год}$.

Среднее содержание растворенных катионов ($+\text{SiO}_2$) в водах кислых рек сульфатного состава составляет 60 мг/л при общем расходе в $37 \text{ м}^3/\text{с}$. Это дает смешанную эрозию районов острова, подвергшихся гидротермальному метаморфизму в $37 \text{ тонн}/\text{км}^2/\text{год}$, что в целом, сопоставимо с данными полученными для пресных вод.

Таким образом, общая оцененная поверхностная химическая эрозия для о. Парамушир оценивается в $71 \text{ тонн}/\text{км}^2/\text{год}$. Это практически в два раза выше оценки, сделанной ранее [4] для о. Шиашкотан.

Ультракислая река Юрьева с водой хлоридно-сульфатного состава выносит ежесуточно около 90 т растворенных веществ (SiO_2 , Na, K, Ca, Mg, $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Al^{3+}), определяющих катионный состав ее вод. Это примерно пятая часть от общего выноса породообразующих компонентов водотоками о. Парамушир, составляющем $470 \text{ тонн}/\text{сутки}$. Площадь распространения ультракислых термальных вод ограничивается постройкой вулкана Эбеко (~2% от общей площади). Следовательно химическая эрозия с участием этих вод в 10 раз выше, чем средняя по острову и составляет около $700 \text{ тонн}/\text{км}^2/\text{год}$.

Полученные данные носят предварительный характер, поскольку не весь поверхностный сток и не все реки были учтены нами при расчете. Вместе с тем оценка поверхностной химической эрозии острова в 10 раз выше средней скорости силикатного выветривания в глобальном масштабе, определенного в $7 \text{ тонн}/\text{км}^2/\text{год}$ [2], но близки к данным, полученным для о. Монтсеррат (Малые Антильские острова) [3]. Оценка гидротермальной эрозии, полученная для о. Парамушир, самая большая из известных. К примеру, подобные оценки для тропических островов Гваделупа и Реюньон составили 290 и 270 $\text{тонн}/\text{км}^2/\text{год}$ [6], а сделанные нами ранее для острова Шиашкотан [4] - $140 \text{ тонн}/\text{км}^2/\text{год}$.

Авторы искренне признательны Д.Ю. Кузьмину и команде катера "Ашура" за помощь при выполнении гидрологических работ. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-17-20011.

Список литературы

1. Калачева Е.Г. Применение метода водного баланса для изучения условий питания подземных вод северной части о. Парамушир, Курильские о-ва // Вестник КРАУНЦ. 2008. №2. С. 87–94.
2. Gaillardet J., Dupre B., Louvat P., Allegre C.J. Global silicate weathering and CO_2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers // Chemical Geology. 1999. V. 159. P. 3–30.
3. Jones M.T., Hembury D.J., Palmer M.R. et al. The weathering and element fluxes from active volcanoes to the oceans: a Montserrat case study // Bulletin of Volcanology. 2011. V. 73. P. 207–222.
4. Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T. Geochemistry and solute fluxes of volcano-hydrothermal systems of Shishkotan, Kuril Islands // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. V. 296. P. 40–54.
5. Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T. et al. Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2016. V. 310. P. 118–131.
6. Rad S.D., Allègre C.J., Louvat P. Hidden erosion on volcanic islands // Earth and Planetary Science Letters. 2007. V. 262. P. 109–124.