

Роль гидротермальных систем Курильской островной дуги в выносе магматических компонентов.

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*

Используя гидрометрические данные основных водотоков, дренирующих термальные поля, и их химический состав, оценена общая гидротермальная разгрузка магматических Cl и S шести гидротермальных систем Курильских остров, включая системы вулканов Эбеко (о. Парамушир), Кунтоминтар и Синарка (о. Шиашкотан), Кетой (о. Кетой), Менделеева и Головнина (о. Кунашир).

Введение

Одной из актуальных проблем геохимической геодинамики в рамках современного понимания строения и динамики мантии, формирования коры, эволюции гидросферы и атмосферы является проблема круговорота элементов. Магматические и вулканические процессы являются при этом одним из ключевых факторов быстрого (в геологическом масштабе времени) перераспределения элементов между мантией и внешними оболочками Земли. Общий поток летучих компонентов, поступающих из магмы сквозь постоянно дегазирующие вулканы, включает в себя: вынос их с вулканическими парами в атмосферу во время извержений; дегазация посредством фумарольной деятельности; гидротермальный поток через локальную гидрологическую сеть. Многочисленными исследованиями, основанными на геохимических и изотопных данных, показано, что магматический флюид смешивается с глубоко циркулирующими водами метеорного происхождения во время нагревания их возле остывающих интрузивных комплексов магматических пород. Конвектирующий раствор образует гидротермальную систему, которая выносит на поверхность Земли вещество вмещающих пород и вещество питающих вулканы магм. Большинство таких систем приурочено к активным вулканам, характеризующимся фреато-магматической или фреатической деятельностью и постоянной пассивной дегазацией в межэруптивные периоды. Анионная составляющая гидротермальных растворов (хлорид, сульфат, фторид, бикарбонат) в гидротермальных системах в большей степени формируется в результате конденсации вулканических паров в подземных водах и может учитываться для количественной оценки выноса магматических летучих.

Курильская островная дуга является идеальным объектом-полигоном для количественных оценок регионального расхода магматических летучих и породообразующих элементов. Ее длина составляет около 2% от глобальной длины зон субдукции. Здесь более 40 действующих вулканов, многие из которых, кроме фумарольных полей, имеют мощные вулкано-гидротермальные системы, обладающие высоким расходом кислых и ультракислых Cl-SO₄ и SO₄-Cl вод. Первые попытки рассмотрения потока летучих Курильской дуги, с учетом гидротермального выноса Cl и S были сделаны в работе [Таран, 2009]. Расчеты в этой работе были сделаны, используя не измеренные расходы дренирующих водотоков, а немногочисленные разрозненные опубликованные данные по расходам кислых термальных ручьев. Количественные оценки для отдельных систем, основанные на собственных гидрологических и геохимических исследования представлено нами в работах (Калачева, Котенко, 2014; Kalacheva et al., 2015, Kalacheva et al., 2016).

В докладе мы представляем обобщающие данные по выносу магматических компонентов наиболее крупных из исследованных нами в 2014-2016 гг. гидротермальных систем Курильских островов, связанных с активными вулканами Эбеко (о. Парамушир), Синарка и Кунтоминтар (о. Шиащкотан), Кетой (о. Кетой), Менделеева и Головнина (о. Кунашир). Все вулканы, с деятельностью которых связаны гидротермальные системы, имеют сходные сложные постройки, похожий состав пород от базальтов до двупироксеновых андезитов, характеризуются активной сольфатарной деятельностью в привершинной части постройки, а на их склонах разгружаются различные типы (от ультракислых хлоридно-сульфатных с пестрым катионным составом до близонейтральных хлоридных натриевых) термальных вод, с минерализацией до 10 г/л и температурой до 98°-100°С

Результаты исследований

На рисунке показано расположение вулканов и связанных с ними гидротермальных систем, рассматриваемых в докладе.

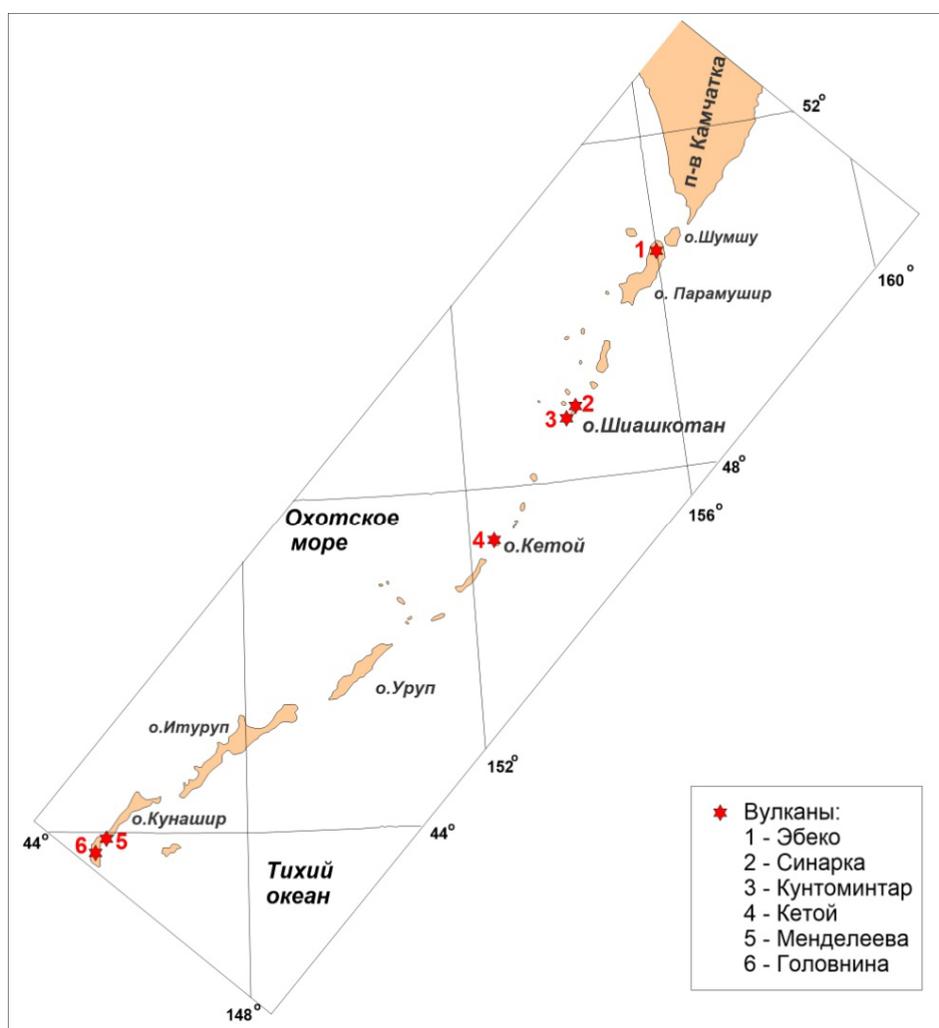


Рисунок. Карта-схема расположение островов Курильской островной дуги.

Остров Парамушир. Вулкан Эбеко (рисунок), расположенный в северной части о. Парамушир, характеризуется частыми фреатическими извержениями, сильной фумарольной активностью в кратерах и на их внешних склонах. В его постройке сформирована локальная гидротермальная система. Основными водовмещающими породами является комплекс четвертичных вулканогенов. Источником теплового

питания, как и для других систем служит остывающая магма или комплекс интрузий неглубокого залегания. Растворение части магматических газов (в основном HCl и SO_2) в зоне аэрации в грунтовых водах приводит к формированию резервуара ультракислых хлоридно-сульфатных рассолов непосредственно под кратерной частью постройки вулкана. Существование подобного подземного «озера» подтверждается геохимическими данными [Kalacheva et al., 2016]. Специфические климатические условия обеспечивают постоянное пополнение резервуара за счет обильных атмосферных осадков, а структурные, стратиграфические и топографические особенности вулкана Эбеко определяют ограниченный сток из «озера» в северо-западной части вулкана. Серия проницаемых крупнообломочных переслаивающихся лав, которые обнажаются в бассейне р.Юрьева формируют гидравлический канал между подземным «озером» и Верхне-Юрьевскими источниками, представляющие собой высокотемпературные ($42-85.5^\circ\text{C}$), высокоминерализованные (до 14 г/л), ультракислые ($\text{pH}<2$) воды хлоридно-сульфатного состава. Единственным дренирующим водотоком является р. Юрьева. Ежедневно рекой выносятся в Охотское море около 80 тонн Cl и 200 тонн SO_4 .

Остров Шишикотан (рисунок), один из северных островов Курильской дуги, состоит из двух четвертичных вулкана Синарка и Кунтоминтар, характеризующимися современной фумарольной и гидротермальной активностью. Дегазация вулкана Синарка осуществляется через экструзивный купол, на склонах и вершине которого разгружаются фумаролы с температурами более 400°C . Обширное термальное поле вулкана Кунтоминтар, с большим количеством фумарол и кислых термальных источников, расположено в сильно эродированном чашеобразном кратере, открытом на запад. Максимальная измеренная температура парогазовых выходов составила 480°C в 2011 г. Оба вулкана характеризуются интенсивной гидротермальной активностью с разгрузкой кислых и ультракислых $\text{SO}_4\text{-Cl}$ вод, стекающих с дренирующими поверхностными водотоками в Охотское море. Общий измеренный вулканогидротермальный вынос магматических Cl и S (как SO_4) кислыми термальными водами с вулканов Синарка и Кунтоминтар составляет 20 т/день и 102 т/день, соответственно.

Остров Кетой (рисунок) - один из центральных островов Курильской дуги, состоящий из нескольких вулканических построек от верхнего плейстоцен до современного возраста, разрушенные крупными обвалами. Наивысшей точкой острова (1172 м) является вершина вулкана Кетой в северо-западной части острова, характеризующегося сольфатарной деятельностью. Действующим является статовулкан Пик Палласа. Последнее зафиксированное извержение произошло в 1924 г. [Горшков, 1967]. В настоящее время характеризуется мощной фумарольной деятельностью, сосредоточенной на восточном внешнем склоне вулкана. Максимально измеренные температуры фумарол превышают 700°C (июль 2016 г). Кратер вулкана заполнен оз. Глазок, диаметром около 300 м. Вода в озере бирюзового цвета, очень кислая ($\text{pH}=2.4$), минерализованная, сульфатная, с температурой $14-15^\circ\text{C}$. Дренирует фумарольной поле вулкана руч. Водопадный, с водами которого ежедневно в Охотское море поступает почти 10 тонн Cl и 22.3 тонны SO_4 .

На обширном сольфатарном поле вулкана Кетой (верховье руч. Горчичный) расположены паро-газовые выходы и термальные источники SO_4 типа в широком диапазоне температуры и pH (от 2 до 7.5) и минерализацией до 2-3 г/л. Дренирующим является руч. Горчичный. Оцененное количество SO_4 , выносимое в Охотское море составляет 7.7 т/сут.

Остров Кунашир (рисунок) - самый южный из Курильских островов. Два вулкана, расположенные в южной его части вулкан Менделеева (888 м) и вулкан Головнин (543 м) характеризуются современной гидротермальной активностью.

Вулкан Менделеева - стратовулкан с экструзивным куполом и четырьмя термальными полями, расположенных на его склонах. Кроме того несколько групп термальных источников расположены у его подножия. Большую часть кальдеры вулкана Головнина занимают два кислых озера, на берегах и в акватории которых расположены термальные поля. Три группы термальных источников находятся на внешней стороне кальдеры на Охотоморском побережье. На термальных полях обоих вулканов разгружаются сольфатары с температурой близкой к температуре кипения и термальные источники $\text{SO}_4\text{-Cl}(\text{SO}_4)$ типа с температурой до 95-97°C и pH от 1.5 до 3. Для источников береговой зоны также характерны высокие температуры, но Cl-Насостав и близнейтральный pH. Два основных термальныеполя и кислые термальные источники вулкана Менделеева дренирует р. Лесная, впадающая в Тихий океан. Река Озерная, дренирующая кальдеру вулкана Головнина несет свои воды в Охотское море. Измеренный гидротермальный вынос хлора и сульфата вулкана Менделеева оценен в 7.8 т/д и 11.6 т/день, соответственно, а вулкана Головнина - 5.7 т/день и 7.3 т/д.

Заключение

Сравнительный анализ проведенных исследований показал, что максимально измеренный вынос глубинно Cl и SO_4 характерен для гидротермальной системы вулкана Эбеко, самой северной из гидротермальной системы Курильских островов. Ежесуточный общий гидротермальный вынос для исследуемых объектов составляет 122 тонны Cl и 124 тонны S, то есть отношение Cl/S ~ 1. В целом, для высокотемпературных фумарол Курильских островов характерно весовое отношение Cl/S ~ 0.4. Возможно это связано с тем, что не все количество серы, выносятся с термальными водами. Часть ее теряется при осаждении сульфатных минералов (ангидрит, алунит). Данная проблема требует дальнейшего исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-17-20011.

Список литературы

1. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
2. Калачева Е.Г., Котенко Т.А. Гидрохимия западного склона вулкана Кунтоминтар (о. Шиашкотан, Курилы) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2014. № 2 (24). С. 12-26
3. 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.
4. 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.
5. Taran Y.A. Geochemistry of volcanic and hydrothermal fluids and volatile budget of the Kamchatka-Kuril subduction zone // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2009. V. 73. P. 1067-1094.