

Химическое выветривание вулканических построек о. Шиашкотан (Курильские острова)

Калачева Е.Г., Долгая А.А., Волошина Е.В., Котенко Т.А.

Chemical weathering of volcanic edifices of Shiashkotan (Kuril Islands)

Kalacheva E.G., Dolgaya A.A., Voloshina E.V., Kotenko T.A.

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

e-mail: keg@kscnet.ru

На основе результатов гидрохимического опробования и гидрометрических измерений, выполненных летом 2020 г. в устьях рек, дренирующих склоны вулканических массивов Синарка и Кунтоминтар, дается оценка высоко- и низкотемпературной химической эрозии о. Шиашкотан.

Химическое выветривание – важный процесс, влияющий на эволюцию ландшафтов и почв, контролирующий речной перенос растворенных компонентов с суши в океан и играющий значительную роль в глобальных геохимических циклах отдельных элементов. Химическая эрозия вулканических пород в областях недавнего и современного вулканизма островных дуг является одним из наиболее интенсивных типов силикатного выветривания. По данным [3], вулканические острова (составляющие лишь 9 % всемирной водосборной площади) могут приносить до 31 % глобального потока растворенного вещества в Мировой океан.

Первая попытка оценить химическую эрозию о. Шиашкотан была предпринята нами в 2015 г. [2], но расчеты базировались на ограниченном количестве данных и экстраполяции, точность которой невелика. В настоящей публикации, на основании материалов, полученных в ходе экспедиционных работ в июле 2020 г., впервые представлены данные, отражающие количественные характеристики выноса растворенного вещества реками, дренирующими преимущественно западные и северо-западные склоны вулканических массивов, слагающих остров.

Краткая общая характеристика острова. Основными морфологическими структурами Шиашкотана, небольшого острова, замыкающего северный блок Курильской дуги, являются два многоцентровых среднеплейстоцен-голоценовых вулканических массива: Синарка и Кунтоминтар. Фундаментом им служат вулканогенные породы округловской свиты (миоцен-плиоцен), обнажающиеся вдоль Тихоокеанского и Охотоморского побережий острова. Схожими отложениями полностью сложен перешеек Макарова, соединяющий вулканические постройки (рис. 1).

В массиве полуострова Чупрова (северная часть острова) действующим является частично разрушенный стратовулкан Синарка, кратер которого занимает экструзивный купол. В настоящее время вулкан проявляет активную фумарольную деятельность, сосредоточенную на склонах и вершине купола. Центральное положение в массиве южной части острова занимает полуразрушенный стратовулкан Кунтоминтар с открытой к западу эрозионной кальдерой и молодым пирокластическим конусом с вершинным кратером. Фумарольная деятельность вулкана сосредоточена на дне и внутренних склонах кратера.

Активные вулканы острова вмещают гидротермальные системы, поверхностные проявления которых представлены разнообразными по химическому составу термальными источниками и парогазовыми выходами. Северо-Шиашкотанская гидротермальная система приурочена к постройке вулкана Синарка. Выходы горячих (до 56 °С) кислых (pH<3) Cl-SO₄ (SO₄-Cl)-вод с минерализацией до 6 г/л встречаются на разном удалении от центрального экструзивного купола (ЦЭК) на северном склоне вулкана. Дренирующим источниками водотоком является руч. Агломератовый. На

северо-восточном склоне, в узкой долине руч. Серный, расположено Северо-Восточное термальное поле (СВТП), для которого характерны парогазовые выходы, водные и водно-грязевые котлы, термальные источники в широком диапазоне рН (от 3 до 7) и температуры (от 30 до 100 °С). На охотоморском побережье находятся 4 группы близнейтральных хлоридных натриевых вод с температурами до 90 °С и минерализацией до 16 г/л.

Кунтоминтарская гидротермальная система носит локальный характер, ее поверхностные проявления ограничены кратером. Термальные источники возникают при попадании грунтовых/поверхностных вод в зону выхода фумарольных струй. В результате этого формируются минерализованные (M=6-9 г/л) горячие (T до 80 °С) кислые (рН=2) сульфатно-хлоридные потоки, стекающие в русло руч. Кратерный.

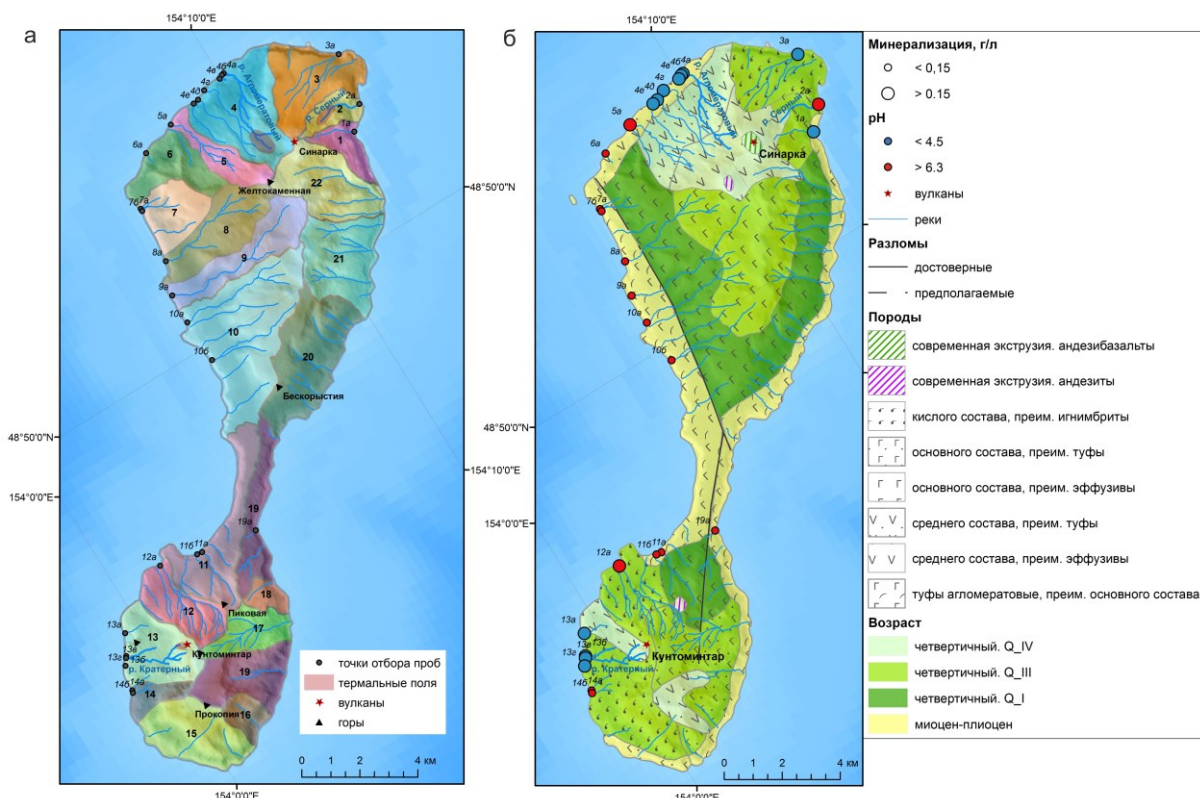


Рис. 1. Водосборные площади с основными водотоками о. Шишкотан (а); геологическое строение и физико-химические показатели в точках опробования (б).

Гидрохимическая характеристика рек острова и оценка химической эрозии.

Базисом дренирования о. Шишкотан являются Тихий океан и Охотское море. Поверхностный сток осуществляется многочисленными ручьями с расходами от первых единиц до сотен литров в секунду, формирующимися на склонах вулканических массивов. Большинство рек острова – порожистые, с многочисленными водопадами, имеют каньонообразные долины. В ходе полевых работ было опробовано 25 водотоков, преимущественно охотоморского бассейна.

По основным физико-химическим показателям, включая кислотно-щелочные свойства, преобладающий ионный состав и общую минерализацию, воды рек делятся на две группы (рис. 2):

1) Близнейтральные ($6.3 < \text{pH} < 7.3$) пресные ($M < 150$ мг/л) Na-Ca- HCO_3 . В эту группу, в основном, входят реки центральной части острова и неизмененных склонов вулканических массивов. Схожий химический состав вод, при более высокой минерализации (0.9 г/л), имеет руч. Серный, в верхнем течении которого расположено одно из термальных полей вулкана Синарка. Преобладающим типом термальных вод, разгружающихся на этом поле, является Ca-Mg- SO_4 -Cl. Источники характеризуются

высокой температурой (до 96 °С), нейтральным рН (6.5-7) и минерализацией до 1.3 г/л. Выходы термальных вод образуют многочисленные ручейки, стекающие в основной водоток.

2) Кислые ($3 < \text{pH} < 4.5$) слабominерализованные (до 2 г/л) SO_4 -воды с пестрым катионным составом, включая Al^{3+} и $\text{Fe}_{\text{общ}}$. В эту группу попадают реки, водосборные бассейны которых находятся в пределах эрозионных кальдер вулканов Синарка и Кунтоминтар. В их питании и формировании химического состава, помимо атмосферных осадков, значительную роль играют разгружающиеся на разном удалении от активных кратеров кислые термальные, а также холодные минерализованные грунтовые воды, дренирующие гидротермально-измененные породы. В эту группу попадают руч. Агломератовый и руч. Кратерный.

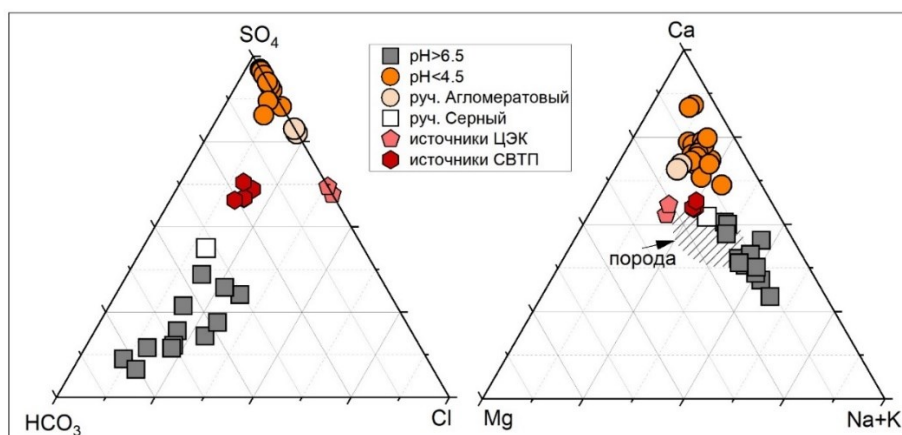


Рис. 2. Диаграммы химического состава рек и термальных источников острова.

Типы и интенсивность химической эрозии, в основном, определяются источниками питания поверхностных вод и составом вмещающих пород. Взаимодействие поверхностных и холодных грунтовых вод с вмещающими породами приводит к низкотемпературному химическому выветриванию, гидротермальные процессы определяют высокотемпературную денудацию [1]. Для определения объемов химического выветривания о. Шиашкотан, весь остров был разбит на отдельные участки, соответствующие водосборным бассейнам отдельных рек или групп водотоков, характеризующихся близким химическим составом. Для расчетов нами использованы данные по растворенному стоку, включая суммарную концентрацию основных катионов (Na, K, Ca, Mg, Al и Fe) и SiO_2 , а также расходы рек в устье.

Суммарное содержание катионов + SiO_2 в водах рек первой группы находится в диапазоне от 25 до 75 мг/л. Исключение составляет только руч. Серный (рис. 1, т. 2а), где это значение достигает 235 мг/л. При расходе воды в устье ручья 140 л/с, это дает ежесуточный растворенный сток 2.8 тонны или смешанную, преимущественно высокотемпературную эрозию в 530 тонн/км²/год. Объем низкотемпературного выветривания центральной части острова в разных водосборных бассейнах в среднем колеблется от 10 до 50 тонн/км²/год. Минимальный вынос растворенного вещества с поверхностными водотоками характерен для перешейка и близлежащих водосборных площадей, сложенных миоцен-плиоценовыми отложениями. Более высокий сток происходит с реками, имеющими протяженные каньонообразные долины, вскрывающие разновозрастные отложения и локальные зоны измененных пород (например, руч. Водопадный (рис. 1, т. 8а), руч. Гротовый (рис. 1, т. 12а)).

Содержание катионов (+ SiO_2) в водах кислых рек сульфатного состава изменяется от 150 до 500 мг/л. В устье руч. Агломератовый (рис. 1, т. 4а) это значение составляет 717 мг/л при расходе воды 238 л/с. Следовательно, ежесуточный вынос растворенных пороодообразующих компонентов достигает 14.7 тонны, что более чем в

10 раз выше данных, полученных для руч. Серный, дренирующего Северо-Восточное термальное поле. С водами руч. Кратерный, истоки которого зарождаются в активном кратере вулкана Кунтоминтар, ежедневно в Охотское море поступает 5.3 тонны растворенных веществ. В зонах смешения морских и речных вод данной группы формируются протяженные шлейфы, состоящие из взвеси соединений алюминия и железа (рис. 3).

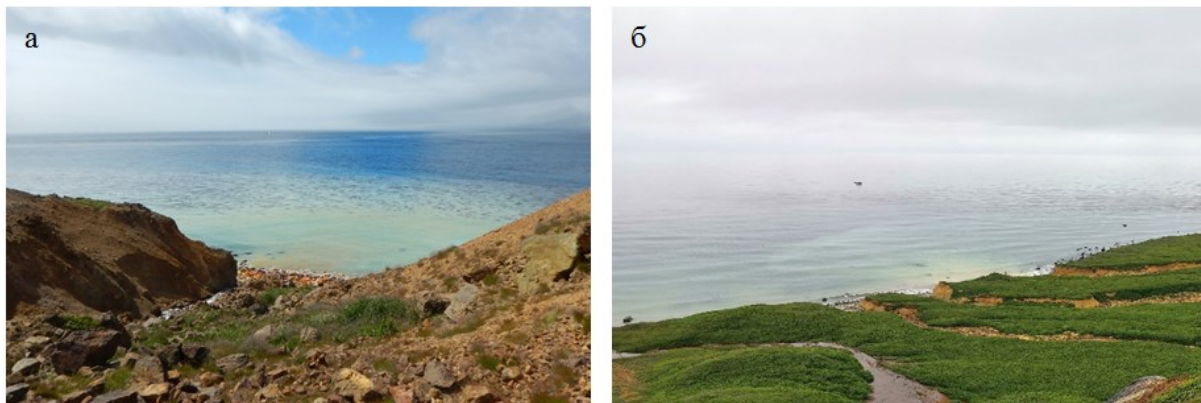


Рис. 3. Зона смешения речных и морских вод. а – руч. Кратерный, б – руч. Агломератовый.

Смешанная химическая эрозия западного склона вулкана Кунтоминтар (рис. 1, водосбор 13), рассчитанная на основании обобщенных данных по гидрохимическому стоку данной площади, составляет 400 тонн/км²/год, а северо-западного склона вулкана Синарка (рис. 1, водосбор 4) – 615 тонн/км²/год. Высокие значения определяются как современными гидротермальными процессами, так и наличием обширных полей гидротермально-измененных пород, содержащих водорастворимые, преимущественно сульфатные минеральные комплексы. Соотношение основных катионов в речных водах в сравнении с породными (рис. 2) указывает на то, что обогащение кальцием кислых водотоков также происходит за счет растворения вторичных кальцийсодержащих минералов.

Объем данных, которыми мы располагаем в настоящее время, не позволяет дать оценку по всему острову, и работы по изучению химической эрозии о. Шиашкотан будут продолжены в 2022 г., но очевидно, что представленные здесь расчеты значительно превышают предварительные оценки, сделанные нами ранее [2].

Авторы искренне признательны Д.Ю. Кузьмину и Л.В. Котенко, а также команде катера «Ашура» за помощь при выполнении гидрологических работ в ходе морской экспедиции 2020 г. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 20-17-00016.

Список литературы

1. Dessert C., Gaillardet J., Duprer B. et al. Fluxes of high- versus low-temperature water-rock interactions in aerial volcanic areas: example from the Kamchatka Peninsula, Russia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2009. V. 73. P. 148-169. DOI: 10.1016/j.gca.2008.09.012
2. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.03.010>
3. Rad S., Rive K., Allegre C. Weathering regime associated with subsurface circulation on volcanic islands // *Aquatic Geochemistry*. 2011. V. 17. P. 221-241. DOI: 10.1007/s10498-011-9122-7