

Пепел вулкана Шивелуч (п-ов Камчатка): эколого-геохимическая характеристика водных вытяжек

Калачева Е.Г., Сергеева А.В., Волошина Е.В., Эрдниева Д.Ю., Богатко Н.П., Мельников Д.В.

Shiveluch volcano ash (Kamchatka peninsula): ecological and geochemical characteristics of water hoods

Kalacheva E.G., Sergeeva A.V., Voloshina E.V., Erdnieva D.Yu., Bogatko N.P., Melnikov D.V.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: keg@kscnet.ru*

В работе представлены результаты лабораторных экспериментов по взаимодействию метеорной и дистиллированной воды с пеплом вулкана Шивелуч извержения 11-13 апреля 2023 г. Изучено поведение макро- и микроэлементов в водном растворе. Сделана экологическая оценка водных вытяжек.

Вулканический пепел содержит растворимые соли и микроэлементы в подвижной форме, которые при взаимодействии с атмосферными осадками/поверхностными водами легко переходят в раствор. Следствием поступления в речную сеть и грунтовые воды большого количества макрокомпонентов и микроэлементов, включая тяжелые металлы и токсичные элементы, может стать ухудшение качества питьевых вод, повышение содержания нормируемых примесей.

Ежегодно на Камчатке в стадии эруптивной активности находятся от трех до шести вулканов. В их число всегда попадают вулканы, входящие в состав Северной группы: Ключевской, Безымянный, Шивелуч. Шивелуч – самый северный действующий вулкан полуострова. Следствием пароксизмального извержения этого вулкана, произошедшего в апреле 2023 г., стало выпадение значительного объема пепла в расположенных близко к вулкану населенных пунктах.

Лабораторные эксперименты с пепловыми вытяжками

Целью первого эксперимента (Эксперимент № 1) стало определение динамики перехода растворенных макро- и микрокомпонентов в водную среду. Для этого подготовленные стандартным методом водные вытяжки отстаивались различное количество дней (1, 7, 14 суток, 1, 2, 3 месяца) без дополнительного взмучивания. По истечении установленного времени пробы отфильтровывались для дальнейшего химического анализа.

Целью второго эксперимента (Эксперимент № 2) стало определение скорости вымывания водорастворимых солей из пеплов, выпавших на землю, атмосферными осадками, а также изучение составов сформированных водных растворов. Для этого разложенный на фильтровальной бумаге в специализированной таре с двойным дном пепел накрывался полностью снегом, отобранном за пределами г. Петропавловск-Камчатский. Раствор, получившийся в процессе естественного таяния снега и взаимодействия с пеплом, в дальнейшем был проанализирован. Дополнительно, высохший пепел дважды проливался талой водой, каждый раз новой порцией с интервалом в 1 сутки, для моделирования выпадения жидких осадков. Полученные растворы также были проанализированы. Соотношение массы пепла и воды/снега было приблизительно 1:10 в каждой итерации, на 100 г пепла приходился примерно 1 кг снега/1 л воды.

Анализ макрокомпонентов был сделан авторами по методикам, лежащим в области аккредитации Аналитического центра ИВиС ДВО РАН. Содержание микроэлементов было выполнено в Центре коллективного пользования Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

Макрокомпонентный состав водных вытяжек

Согласно Эксперименту № 1, практически весь возможный объем (13 г) из навески в 100 г растворяется в первые сутки. Водная вытяжка имеет сульфатно-хлоридный кальциевый состав с минерализацией 1.3 г/л и pH=4.5. Концентрация сульфат-ионов достигает 700 мг/л, хлорид-ионов – 190 мг/л. Увеличение периода отстаивания водных вытяжек способствует снижению pH до 3.7 за счет продолжающихся процессов окисления, растворения некоторых сульфатных солей и увеличения концентрации SO_4^{2-} . Вследствие этого процесса происходит увеличение минерализации раствора.

Эксперимент № 2 показал, что основная масса хорошо растворимых хлоридов натрия и калия вымывается из пеплов при первом взаимодействии с атмосферными осадками (рис. 1а). Также быстро падает содержание солей магния, одинаково хорошо растворимых как в сульфатных, так и в хлоридных комплексах. Следовательно, и в природных условиях пепел будет промываться от этих компонентов достаточно быстро.

Несколько иначе выглядит динамика концентрации ионов, образующих малорастворимые соединения, такие как фторид и сульфат кальция. Концентрации этих ионов падают медленно, и для достижения уровня талых вод требуется многократное промывание: примерная оценка по кальцию показывает, что необходимо более 20 раз промыть пепел (рис. 1б), тогда как наш эксперимент был прерван после третьего промывания пепла. Содержание фторид-иона (рис. 1а) при промывании представляет собой промежуточный случай между хорошо и плохо растворимыми соединениями. Фториды кальция и магния малорастворимы, а фториды щелочных металлов, напротив, растворяются хорошо. Видимо, поэтому фторид-ион поступает в воды медленнее, чем хлорид, но быстрее, чем сульфат кальция.

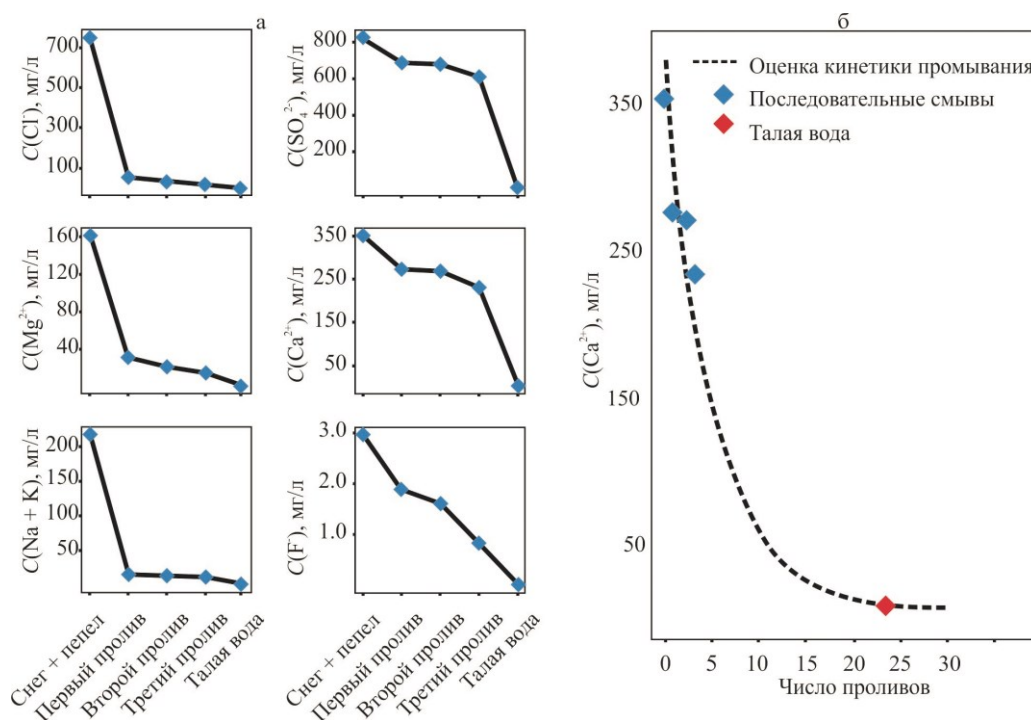


Рис. 1. Динамика изменения состава талых вод, последовательно промывающих пепел вулкана Шивелуч (а) и приблизительная оценка динамики вымывания кальция из малорастворимой части солевого комплекса пепла (б).

Микроэлементный состав водных вытяжек

В водную вытяжку элементы могут попадать не только из вмещающей породы, составляющей основу вулканических пеплов, но и привноситься с магматическим флюидом, взаимодействующим с пеплами. Для определения источников поступления элементов в раствор рассчитаны коэффициенты переноса элементов между

вмещающей породой и раствором. При изучении кислых вулканических вод в качестве нормирующего элемента используется магний из-за его консервативного поведения в кислых флюидах [1]. Поскольку водные вытяжки из пеплов активных вулканов являются аналогами кислых вулканических вод, в качестве нормирующего элемента мы также используем магний.

На графике (рис. 2) представлены нормированные значения для суточной водной вытяжки (1с/23) и для вытяжки, которая отстаивалась два месяца (2м/23). Распределение коэффициентов переноса достаточно типично для кислых вулканических вод.

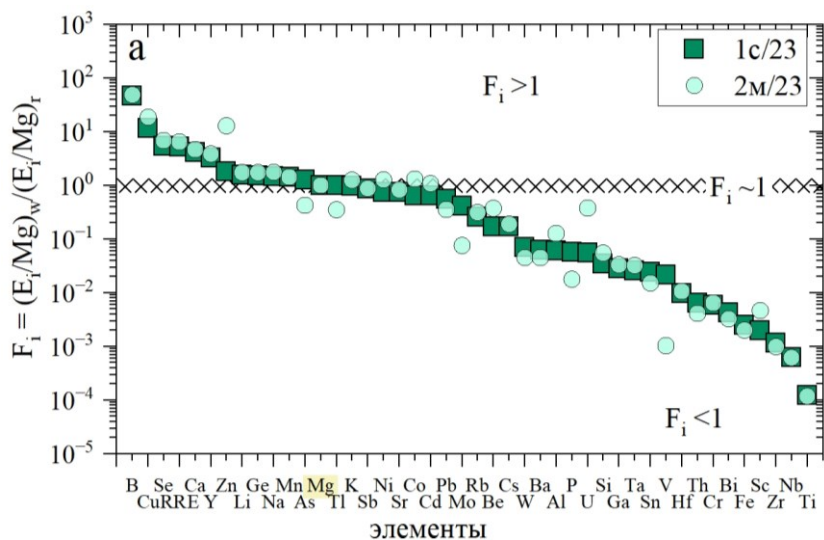


Рис. 2. Коэффициенты переноса элементов в водных вытяжках пеплов вулкана Шивелуч.

Водные вытяжки свежих пеплов содержат высокие по отношению к содержанию в породе вулкана Шивелуч концентрации летучих компонентов (бор, селен), поступающие вместе с магматическими газами. Как следствие неравномерного выщелачивания твердой фазы пеплов в растворе зафиксированы повышенные концентрации кальция, меди и редкоземельных элементов. Редкоземельные элементы переходят в воду всем спектром (за исключением европия) пропорционально содержанию в породе. На уровне породных отношений находятся некоторые щелочные (Li, Na, K, Sr), высокозарядные (Y, Pb) и переходные (Zn, Ni, Co, Mn) металлы. Для остальных элементов, включая породообразующие (Fe, Al, Si, Ti), коэффициенты переноса очень низкие, следовательно, в раствор переходит только незначительная их часть. Все они могут оставаться в твердофазных соединениях пеплов и не переходить в раствор при данных условиях или быть потеряны в процессе образования вторичных малорастворимых фаз до начала проведения эксперимента.

Экологическая характеристика водных вытяжек из пеплов

Поскольку пепловые выбросы активных вулканов являются потенциальными загрязнителями природных вод, одним из ключевых моментов изучения водных вытяжек является оценка состояния этих растворов в отношении уровня содержания нормируемых элементов по установленным ГОСТам качества воды. Оценка степени загрязнения растворов тяжелыми металлами, токсичными элементами и другими нормируемыми показателями выполнена путем сравнения полученных данных с установленными нормами предельно допустимых концентраций в объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования по ГН 2.1.5.1315-03 (КПДК = С_г/ПДК_г) и по СанПиН 1.2.3685-21.

Выполненная оценка санитарно-гигиенического состояния водных вытяжек свежих пеплов извержения вулкана Шивелуч показала превышение предельно-

допустимых концентраций (ПДК), установленных для водных объектов питьевого назначения для ряда элементов разных классов опасности (таблица).

Таблица. Превышение предельно-допустимых концентраций в водных вытяжках пеплов вулкана Шивелуч

	SO ₄	F	Li	Be	B	Al	Mn	Ni	Cu	Cd	Tl
1 сутки	1.5	3.1	1.5	0.9	1.5	196	18	2.9	5.9	1	3.6
2 месяца	2.0	3.1	1.6	1.9	1.5	391	17	4.7	9	1.6	1.2
Полгода*	нет превышения					14	нет превышения				

Примечание. Содержание Ti, V, Cr, Fe, Co, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Cs, Ba, Pb <ПДК; * – пепел, отобранный спустя полгода после извержения.

Из высокоопасных элементов в водных вытяжках наблюдается превышение ПДК в 1.5-4.7 по Li, B, Ni, Cd. Следует отметить, что, попадая в раствор, эти элементы не связываются в минеральные комплексы со временем, остаются в растворе в тех же концентрациях, или происходит их накопление. Среди опасных элементов выявлены максимальные превышения ПДК для алюминия, марганца, меди. Максимальный негативный эффект привносит алюминий. Это единственный элемент, содержание которого превышает ПДК (в 14 раз) и в водных вытяжках пеплов, пролежавших полгода в естественных условиях в окрестностях п. Ключи. По остальным нормируемым элементам в этих вытяжках нет превышений предельно-допустимых концентраций, установленных для объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Выводы

Эксперименты по взаимодействию пеплов с метеорными водами показали, что система «вода-пепел» является динамичной, в ней присутствуют как быстрые процессы, так и медленные. Водные вытяжки свежих пеплов содержат высокие по отношению к содержанию в породе вулкана Шивелуч концентрации летучих компонентов (бор, селен), поступающие вместе с магматическими газами. Как следствие неравномерного выщелачивания твердой фазы пеплов в растворе зафиксированы повышенные концентрации кальция, меди и редкоземельных элементов. На уровне породных отношений находятся некоторые щелочные, высокозарядные и переходные металлы. Для остальных элементов, включая порообразующие, коэффициенты переноса очень низкие.

Пепел является источником пролонгированного поступления нормируемых примесей в питьевые воды, что влияет на качество последних. Максимальные превышения предельно допустимых концентраций выявлены для алюминия, марганца, меди и кадмия. Кроме того, растворимый комплекс пеплов может являться основой для формирования регионального гидрохимического фона вблизи активных вулканов, что по косвенным признакам наблюдается в районе Северной группы вулканов Камчатки. Однако, это является предметом наших дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВиС ДВО РАН по теме «Мониторинг влияния вулканической и гидротермальной активности на химический состав рек Камчатки» (FWME-2024-0014), выполняемой в рамках «Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024-2026 гг.».

Список литературы

1. *Varekamp J.C.* The chemical composition and evolution of volcanic lakes // *Volcanic Lakes. Advances in Volcanology.* Rouwet D., Christenson B., Tassi F., Vandemeulebrouck J. (Eds.). Springer-Verlag, 2015. P. 93-123.