

Минеральный состав пепловых котлов пирокластического потока извержения вулкана Молодой Шивелуч 11 апреля 2023 г.

Сергеева А.В., Фролов В.И., Назарова М.А., Кузьмина А.А., Карташева Е.В.

Mineralogy of the rootless fumaroles associated with the 2023 eruptive deposits of the Shiveluch volcano

Sergeeva A.V., Frolov V.I., Nazarova M.A., Kuzmina A.A., Kartasheva E.V.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: anastavalers@gmail.com*

Исследованы минеральные ассоциации, сформировавшиеся на бортах пепловых котлов, которые образовались в результате схода пирокластического потока со склонов вулкана Шивелуч во время извержения в апреле 2023 года. Минеральный состав определяется температурой, влажностью, поступлением и концентрированием растворимых солей, сопряженных с пирокластическим материалом.

Введение

10-13 апреля 2023 г. произошло сильнейшее за 60 лет извержение вулкана Шивелуч [1]. В результате извержения от купола Молодой Шивелуч в южном и юго-восточном направлении сошел крупный пирокластический поток, который разделился на несколько рукавов. Под тридцатиметровой толщей пирокластических отложений оказалась часть долины реки Кабеку, к юго-востоку от вулкана Шивелуч. Фронт этого рукава, по данным спутниковых снимков, находится приблизительно в 20 км от купола, при ширине рукава до первых километров. В результате постэруптивной природной деятельности, в первые месяцы после извержения на поверхности пирокластических отложений сформировались структуры, которые для простоты описания можно охарактеризовать как «пепловые котлы» (рис. 1, 2а, г). Они формируются в результате деятельности так называемых «бескорневых фумарол» [2]. Взрывное испарение метеорной воды, которая в ходе фильтрации сквозь толщу пирокластических отложений достигает захороненных дегазирующихся глыб с температурами до нескольких сотен градусов, приводит к образованию котлов диаметром от десятков сантиметров до 1.5-2 метров на поверхности пирокластической толщи. При этом в приповерхностном слое и на поверхности вокруг котлов наблюдается фонтанирование пеплов и большое количество вторичных минералов разнообразного состава.



Рис. 1. Пепловый котел на пирокластическом потоке вулкана Молодой Шивелуч. Сентябрь 2023 г.

В ходе полевых работ в сентябре и ноябре 2023 года в центральной части пирокластического потока выполнен отбор образцов вторичных минералов, образовавшихся в результате деятельности пепловых котлов, как на поверхности пирокластических отложений, так и в приповерхностной части. На момент отбора образцов, по данным измерений с использованием термопары, температуры в приповерхностной части (менее 1 м) толщи пирокластических отложений составляли до 360 и до 300 °С в сентябре и ноябре, соответственно (рис. 2б, в). В ходе полевых работ в апреле-августе 2023 года были отобраны образцы пепла вулкана Шивелуч, изучены растворимые соли пепла. На основании солевого состава пепловых образцов можно спрогнозировать состав минеральных ассоциаций, которые могли бы образоваться в ходе предполагаемой фумарольной активности.



Рис. 2. Пирокластический поток извержения вулкана Молодой Шивелуч 11 апреля 2023 г.: а – пример пеплового котла с диаметром на поверхности приблизительно 1.5 м; б – измерение температуры в котле в середине сентября 2023 г., показания термопары – 358 °С; в – измерение температуры в котле в начале ноября 2023 г., показания термопары – 295 °С; г – пример пеплового котла с масштабом в районе долины реки Кабеку, 1 ноября 2023 г.

Материалы и методы

Методами рентгеновской дифрактометрии и инфракрасной спектроскопии были исследованы минеральные ассоциации, сформировавшиеся на бортах пепловых котлов. Инфракрасные спектры были записаны с помощью инфракрасного спектрофотометра с преобразованием Фурье, IRAffinity-1 (Shimadzu), в диапазоне волновых чисел 400-4000 см^{-1} , с разрешением 4 см^{-1} , число сканов 100. Образцы для исследования были растерты в агатовой ступке с бромидом калия и спрессованы в таблетки. Дифрактограммы записаны с помощью рентгеновского дифрактометра XRD MAX 7000 (Shimadzu), в диапазоне 6-65 2θ , с шагом 0.1 2θ , скорость сканирования 2 град/мин, при вращении образца.

Результаты и обсуждение

Исследование водорастворимых солей пепла вулкана Шивелуч от извержения 10-13 апреля 2023 г. показало, что основными солями являются сульфат кальция, хлорид натрия, в меньших количествах присутствуют сульфаты и хлориды магния, алюминия, аммония, калия. Предварительный прогноз макроминерального состава, каким бы он был в случае фумарольной/парогазовой активности на продуктах извержения Шивелуча, в том числе на пеплах и пирокластических потоках, привел к заключению, что доминировать будут сульфаты кальция различной степени гидратации – ангидрит, бассанит, гипс, минералы группы ярозита, алунита, кислые сульфаты типа летовичита или иных гидросульфатов. Микроминеральный состав должен быть намного богаче, он определяется многофакторными условиями фильтрации вод сквозь толщу и взаимодействием «вода-порода», а также локальными условиями.

Исследование минерального состава ассоциаций, образованных в пепловых котлах, подтвердило предварительные прогнозы, показало доминирование сульфата кальция различной степени гидратированности – гипса, бассанита, ангидрита, минералов группы алунита и ярозита, встречается хлорид натрия – галит. Также присутствуют летовичит и его аналоги, условно обозначенные как $\text{Na}_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$. Сульфат трехвалентного железа встречается в виде двойных солей типа сабейита и твердых растворов на его основе (рис. 3). Водорастворимые соли пеплов и пирокластических потоков послужили основой для формирования минералов на бортах пепловых котлов, которые формируются в результате взрывного испарения метеорных вод, достигших погребенных под толщей раскаленных глыб.

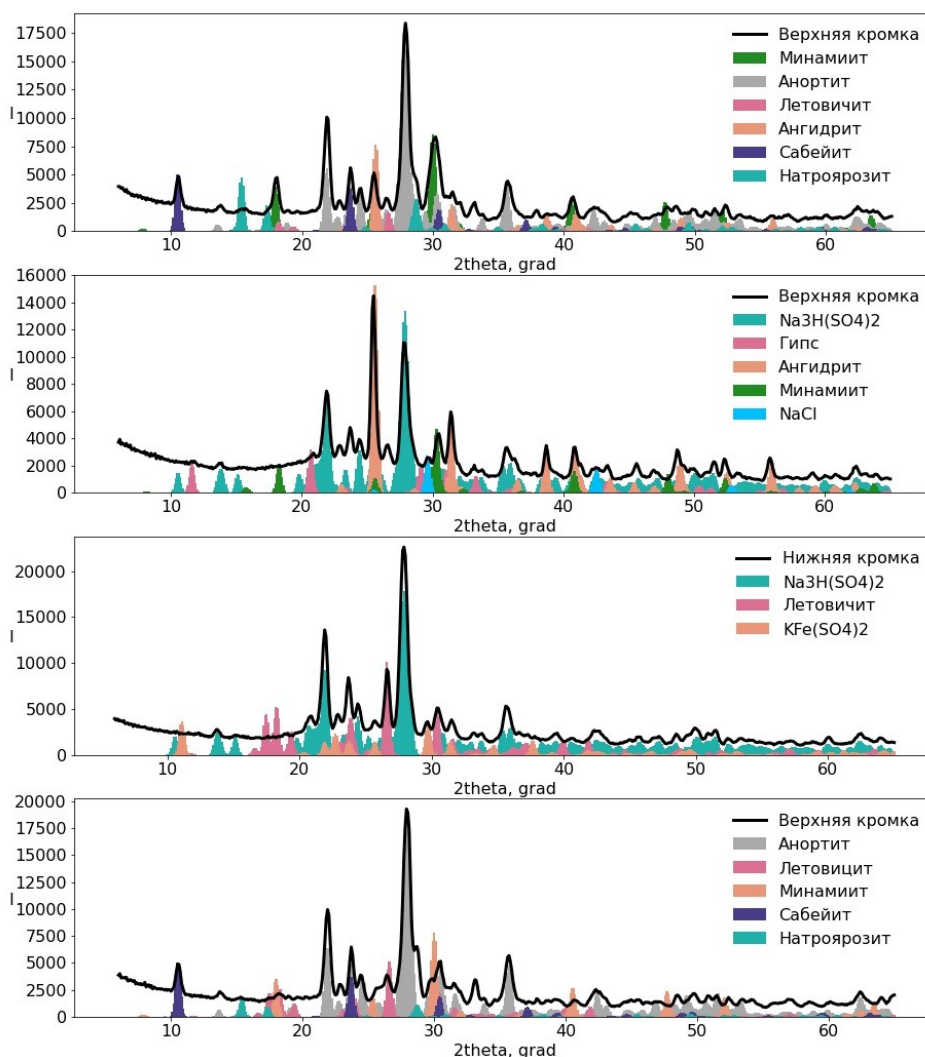


Рис. 3. Дифрактограммы различных участков с бортов пепловых котлов.

Заключение

В ходе извержения вулкана Шивелуч 10-13 апреля 2023 г. с купола Молодой Шивелуч сошел крупный пирокластический поток, под многометровой толщей пирокластических отложений оказались погребены медленно остывающие раскаленные дегазирующиеся глыбы. Метеорные воды, фильтрующиеся сквозь отложения, достигают этих глыб и нагреваются до нескольких сотен градусов, вплоть до закритических температур, переходя в пар и образуя парогазовую смесь, выход которой на поверхность проявляется в виде фонтанирующих пепловых котлов, с температурой на выходе ~300-350 °С. Минеральный состав котлов определяется растворимыми солями изверженного материала, на бортах доминируют сульфаты кальция, минералы группы алунита и ярозита, двойные и кислые сульфаты.

Список литературы

1. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Хорват А. и др.* Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10-13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 283-291.
2. *Гирина О.А., Нуждаев А.А.* О некоторых особенностях извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 22 сентября 2005 г. // Вулканология и сейсмология. 2014. № 4. С. 20-30.