

УДК 551.231

Об уникальном минеральном парагенезисе вулканических газов

Л.П. Вергасова¹, С.В. Москалёва¹, А.П. Шаблинский³, В.И. Силаев², Г.А. Карпов¹, С.К. Филатов², К.В. Тарасов¹, М.А. Назарова¹

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: vlp@kscnet.ru*

²*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

На основе результатов комплексных минералого-геохимических и изотопно-геохимических исследований выявлен уникальный минеральный парагенезис вулканических эксгаляций в пределах лавового поля Второго конуса Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ, 1975-1976 гг., Камчатка). Обосновывается источник газов, обусловивших образование и накопление минерального вещества на бескорневых участках новообразованных вулканических тел – лавовых потоках.

Введение

После достаточно полной сводки по минералогии вулканических эксгаляций на вулканах Камчатки [2], на Трещинном Толбачинском извержении 2012-2013 гг. (ТТИ-50) [4] был установлен большой комплекс минеральных фаз, в том числе самородно-металлических, в пирокластике, выпавшей из газо-пепловой колонны в процессе извержения ТТИ-50, а в составе лавопещерных минерализаций – сложные минеральные смеси [7].

Результаты геохимических исследований вулканических газов и конденсатов ТТИ-50 [8] свидетельствуют о достаточно высоких концентрациях в них многих элементов, в том числе рудных, среди которых особенно значительны были содержания F, Cl, Si, Cu, Ba, Zn, Se, Pb, Tl, Bi. Заметны были и содержания Al, V, Ag, Au, Sr, Cr. Стало ясно, что при резкой смене P-T условий переноса газовой фазы возможно образование и значительное накопление в своеобразных «ловушках» рудных и нерудных минерализаций.

Исследование минерализаций в продуктах эксгаляций на лавовых потоках БТТИ дополняют наши представления о современном вулканогенном минерало-рудообразовании.

Характеристика места отбора проб

Образцы отбирались в пределах шестого лавового потока в 2-2.5 км к западу от Второго конуса, в основании высокого (около 10 м) южного бортового вала, обрамлявшего «Главный поток» (рис. 1). В описании [1] пятый, шестой и двенадцатый лавовые потоки объединены под общим названием «Главный поток». Бортовой вал состоял из шлако-глыбового нагромождения изверженных пород базальтового состава, в том числе Второго конуса, покрытого мелко-шлаковым чехлом из пирокластике [1]. На общем сером фоне вулканитов выделялся участок измененных пород кремовато-желтовато-белого цвета площадью 20×5 м² – фумарольная площадка, образовавшаяся в результате подтока к этому месту горячих вулканических газов. Мелкий пирокластический материал в пределах фумарольной площадки был интенсивно изменён и сцементирован в плотную корку мощностью 2-3 см, состоящую из фторидов (в основном, ральстонита $\text{Na}_x(\text{Mg}_x\text{Al}_{2-x})(\text{F},\text{OH})_6 \cdot y\text{H}_2\text{O}$), пересеченную системой закрытых трещин, которые прослеживались тонкими и темными буроватыми штрихами. В местах трещин корка как бы незначительно вздувалась, что, по-видимому, было связано с давлением выделяющихся газов. Температура в трещинах соответствовала 320 °С. При вскрытии под коркой были обнаружены скопления новообразованных минералов, которые прослеживались до глубины 25-30 см.

Лабораторные исследования

Отобранные образцы тщательно просматривались под биноклем, затем анализировались с использованием методов рентгенофазового анализа (порошковый дифрактометр «D2 Phaser», аналитик Шаблинский А.П., СПбГУ; дифрактометр “XRD-7000 MAXima” Shimadzu, аналитик Назарова М.А., ИВиС ДВО РАН); аналитической СЭМ (TESKAN “Vega3” с энергетическим спектрометром X-MAX50 (Oxford), аналитик Москалёва С.В., ИВиС ДВО РАН) и изотопной масс-спектрометрии (Delta V+ (Finnigan) с элементным анализатором Flash EA-HT 1112 и газовым коммутатором Confo IV).

Планируются структурные исследования для предполагаемых новых природных соединений с чётко выраженными индивидуальными морфологическими признаками.

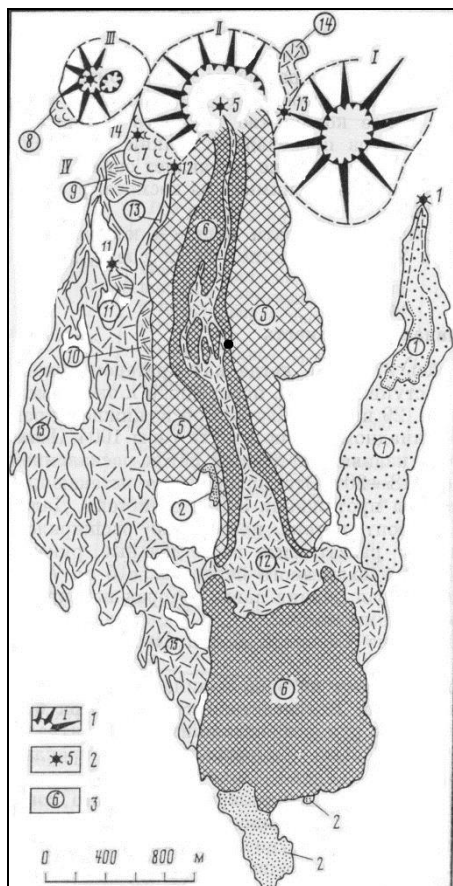


Рис. 1. Схема лавовых потоков Северного прорыва БТТИ. Взято из [1]. «*» – обозначено место отбора проб.

металлов – Al, Nb, Hg, Cr, сплавов Cu-Zn-Al-состава и муассанита SiC (рис. 2). В конце разреза на глубине ~30 см находились обломки изверженных пород с кристаллами тенорита иссиня-черного цвета.

Обсуждение результатов

Поверхностная корка, образованная под воздействием вулканических газов и состоящая из ральстонита и изменённой мелкой пирокластики, обусловила хороший каптаж выделяющихся газов из изверженных пород при их остывании. Эти газы являются источником компонентов, обусловивших уникальный минеральный парагенезис, причём в мало ожидаемом месте, а именно – на бескорневых участках новообразованных вулканических тел, каковыми являются лавовые потоки [6]. Этому в

Результаты исследования

Установлена последовательность формирования новообразованных минеральных фаз, выявлены ведущие, второстепенные и акцессорные минералы.

Непосредственно под коркой, состоящей из ральстонита и изменённой тонкой пирокластики, в мелко-глыбовом субстрате были обнаружены выделения белого, ватоподобного, очень гигроскопичного вещества (Zn, Cl). Поверхность обломков лав с этими выделениями на воздухе через некоторое время становилась «влажной» с маслянистым блеском. Здесь же был также обнаружен белый чешуйчатый минерал – природный селенит – софиит $Zn_2(SeO_3)Cl_2$, выделения которого прослеживались до глубины 10-15 см. В ходе лабораторных исследований была установлена ещё одна гигроскопичная фаза, изучение которой продолжается. Глубже границы отложений не имели четких очертаний. Здесь были зафиксированы минералы класса селенитов, тенорит CuO , котуннит $PbCl_2$. Обращают на себя внимание случаи тесного срастания тенорита с кристаллами и зёрнами котуннита, придавая тем самым смоляной до жирного блеск, несвойственный оксиду меди. С котуннитом отмечались редкие находки частиц самородного золота. В мелкой фракции пепловых частиц менее 0.25 мм встречаются единичные зёрна самородных

немалой степени способствовали газы, отделяющиеся при остывании значительного объема пород начальной фазы извержения Второго конуса, растащенных лавовыми потоками при их продвижении. В процессе бурного эксплозивно-эффузивного этапа извержения [1] были разрушены южная и юго-западная части конуса, и вынесены в направлении уклона местности не только породы постройки, но и огромное количество бомб и шлака, засыпавших их поверхность.

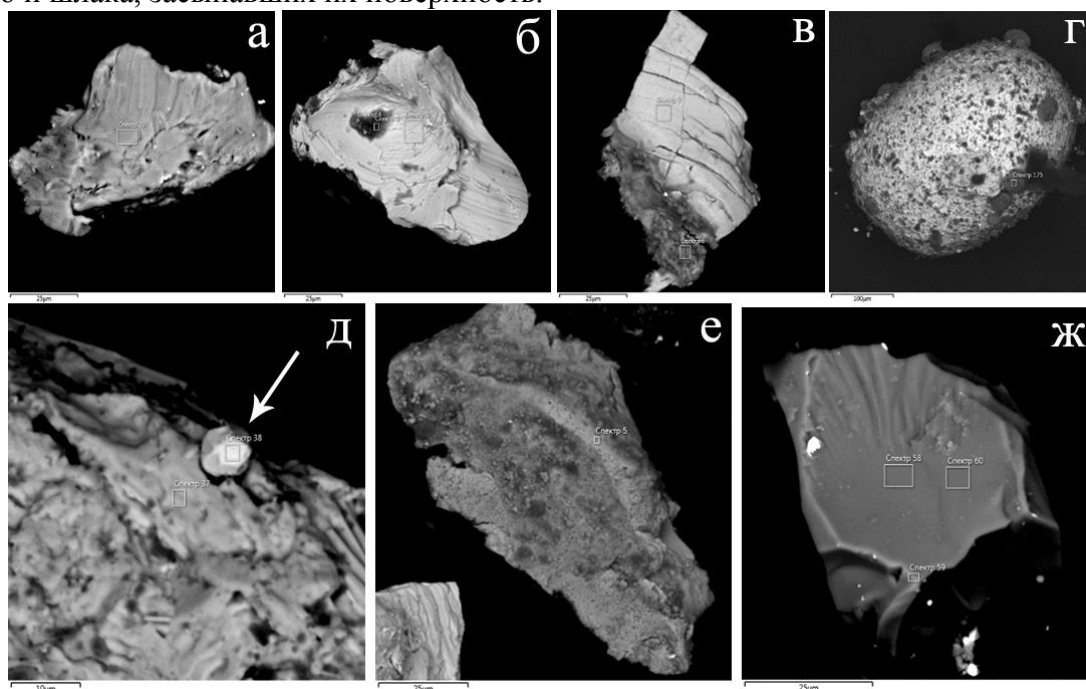


Рис. 2. СЭМ-изображения самородно-металлических фаз, сплава и муассанита в режиме упруго-отражённых электронов: а – алюминий; б – ниобий; в – хром; г – ртуть; д – золото в котунните; е – сплав состава Cu-Zn-Al; ж – муассанит.

Помимо приведённых выше факторов, на минеральный состав фумарольной минерализации, возможно, оказывали влияние разнообразные твердофазовые реакции, приводящие к образованию смешанных гигроскопичных фаз на основе тенорита, котуннита, софиита и других первоначальных минералов. Появление со временем у подобного рода минерализаций зелёной окраски может свидетельствовать об образовании вторичных водных фаз, как это происходит в лабораторных условиях при взаимодействии первоначальных минералов с атмосферной влагой – например, образование гербертсмитита $ZnCu_3(OH)_6Cl_2$, впервые обнаруженного в продуктах деятельности фумарол на камчатских вулканах. Формированию вышеописанной минеральной ассоциации могло также способствовать разложение погребенной растительности, вовлечённой в процесс минералообразования. Об участии органики может свидетельствовать факт встречаемости незначительной примеси азота в анализах некоторых новообразованных фаз.

Проведенный анализ показал, что зачастую эксгаляционные минерализации импрегнированы некристаллическим углеродистым веществом, наблюдающимся в разных формах – в виде отдельных микрочастиц, чёрных пленок, в срастаниях с самородно-металлическими фазами и муассанитом. По данным изотопной масс-спектрометрии (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН), выявленное углеродистое вещество в исследуемой минерализации довольно однородно по изотопному составу (‰): $\delta^{13}C_{PDB} = -25.99 \pm 2.27$ ($V = 9\%$); $\delta^{15}N_{Air} = 6.74 \pm 2.48$ (37%) и вполне сопоставляется по этому критерию с углеродом, атомно-рассеянным в камчатских вулканитах, и с abiогенными конденсированными органоидами, выявленными в продуктах извержения многих современных вулканов. На основании этого мы считаем

углеродистое вещество эндогенным по происхождению и глубинным по источнику вещества.

Заключение

На ограниченном участке лавового потока Второго конуса БТТИ, при температуре более 300°C, на расстоянии 2-2.5 км от эруптивного центра выявлен уникальный минеральный парагенезис вулканических эксгальций. Видообразующими элементами новообразованных минеральных фаз являются – H, C, O, F, Cl, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Cr, Nb, S, Cu, Zn, Pb, Se, Cd, Hg, Au, Tl, Fe.

Обнаруженная минеральная ассоциация представлена соединениями класса самородных элементов, оксидов, фторидов, хлоридов, сульфатов, селенитов. Среди них наиболее полно представлены галогениды (фториды, хлориды) и специфический класс селенитов. В намного подчинённом количестве установлено наличие минералов класса сульфатов. Ведущими минералами являются тенорит, котуннит, ральстонит, софиит, гигроскопичные цинксодержащие фазы. Из аксессуариев обнаружены самородные (Au, Al, Nb, Hg, Cr), сплавы (Cu, Zn, Al), карбиды (муассанит) и абиогенное углеродистое вещество.

Источником вещества уникального парагенезиса минералов на лавовом потоке Второго конуса являются фумарольные газы [5], отделяющиеся при остывании лавовых потоков. В составе фумарольных газов предполагаются, в том числе, окклюдированные взрывные газы изверженных пород Второго конуса. Присутствие в исследованной минеральной ассоциации самородно-металлических фаз, сплавов и муассанита даёт основание предполагать участие в минералообразовании газов из эруптивного газопеплового потока. Образование зоны пеплопада над лавовым полем Второго конуса свидетельствует о распространении садки взрывно-пирокластического материала на значительное расстояние от центра эрупции (более 3 км).

Изотопные данные по углеродистому веществу с места отбора образцов исследуемой эксгальционной минерализации свидетельствуют об эндогенном происхождении и глубинном источнике газов. Данные не противоречат опубликованным ранее результатам геофизических исследований о глубинности источника флюидно-магматического вещества под Толбачинским вулканом [3].

Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.
2. *Вергасова Л.П., Карпов Г.А., Филатов С.К.* Минералогия изменённых пород современных гидротермальных систем и вулканических эксгальций Камчатки // История науки и техники. 2017. № 7. С. 52-65.
3. *Гонтовая Л.И., Силаев В.И., Вергасова Л.П. и др.* К вопросу о глубинности источника флюидно-магматического вещества под Толбачинским и Ключевским вулканами // Материалы XX региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 22-25.
4. *Карпов Г.А., Силаев В.И., Аникин Л.П. и др.* Взрывная минерализация ТТИ-50 / В кн. Толбачинское трещинное извержение 2012-2013 гг. (ТТИ-50). 2017. С. 239-253.
5. *Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Шапарь В.Н.* Геохимические особенности эксгальций Большого трещинного Толбачинского извержения. М.: Наука, 1980. 235 с.
6. *Набоко С.И.* Вулканические эксгальции и продукты их реакции. / Тр. лаб. вулканол. станций. Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 16. 300 с.
7. *Тарасов К.В., Назарова М.А.* Вещественный состав лавопещерных минерализаций, образовавшихся в ходе Трещинного толбачинского извержения 2012-2013 гг. // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Материалы 27-й научной конференции Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2018. С. 215-218.
8. *Chaplygin I.V., Lavrushin V.Y., Dubinina E.O.* Geochemistry of volcanic gas at the 2012-13 New Tolbachik eruption, Kamchatka // J. Volcanol Geotherm. Res. 2016. Vol. 323. P. 186-193.