

Минеральный состав солей термальных полей вулкана Бурлящий (п-ов Камчатка, Россия)

Топчиева О.М., Калачева Е.Г., Волошина Е.В., Сергеева А.В., Назарова М.А.

Mineral composition of the salt efflorescence from the thermal fields of Burlyashchiy volcano (Kamchatka Peninsula, Russia)

Topchieva O.M., Kalacheva E.G., Voloshina E.V., Sergeeva A.V., Nazarova M.A.

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

e-mail: topchieva2011@mail.ru

Исследованы минеральные и химические составы солевых выцветов термальных полей вулкана Бурлящий. Выявлены минералы: чермгит, галотрихит, гипс, буссенготит и пиракмонит. Для определения этих минералов использовались три метода: ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ и сканирующий электронный микроскоп.

Между кальдерой Узон и Карымским вулканическим центром, на берегу Кроноцкого залива, находится вулканический массив Большой Семячик, который представляет собой сложное сооружение с одноименной кальдерой диаметром около 10 км. Массив состоит из множества небольших, слившихся основаниями, разновозрастных вулканов и ряда экструзивных куполов. Он вмещает крупную гидротермальную систему, поверхностные проявления которой в виде прогретых площадок, парогазовых выходов и разнообразных водных/водно-грязевых котлов сосредоточены в кратерах древних вулканов, а в виде горячих и теплых источников – на южном склоне в долине р. Старый Семячик и на побережье у восточного подножия [1, 2, 5]. Гидротермальная деятельность сопровождается процессами современного минералообразования, на пропаренных площадках кристаллизуются преимущественно водорастворимые соли.

Цель данного сообщения – по данным полевых работ 2023 г. представить результаты минералогических исследований солевых выпотов, формирующихся на термальных полях вулкана Бурлящий.

Общая характеристика термальных полей вулкана Бурлящий

Вулкан Бурлящий является одним из наиболее древних образований посткальдерного комплекса массива Большой Семячик [4]. Его постройка сильно разрушена в результате гидротермальной проработки и последующих эрозионных процессов. На современном этапе представляет собой куполообразный холм, разделенный долиной руч. Фумарольный по направлению юго-восток – северо-запад (рис. 1). Абсолютная высота вулкана Бурлящий составляет 1164 м, относительная – 30-50 м с юга и около 200 м с севера. Разрез постройки представлен чередованием маломощных базальтовых лав и мощных пачек грубослоистых туфобрекчий и туфоагломератов андезибазальтов [3, 4].

С постройкой вулкана связаны две крупные термоаномалии: Верхнее термальное поле и Парящая долина (рис. 1б). Верхнее термальное поле разделено на несколько участков ручьями, питающимися из многолетних снежников. Наиболее высокое (гипсометрически) положение занимают несколько мощных парогазовых струй с температурой >100 °С, рядом с которыми и ниже по склону находятся множество мелких котлов с кипящей водой, прогретые площадки с выпотами солей (рис. 1в). Средний диапазон значений рН в водных котлах 2.5-4.5, минерализация колеблется от 0.7 до 2.7 г/л. По химическому составу термальные воды относятся к сульфатно-аммониевым. Анионная часть представлена только SO_4^{2-} , катионная часть более разнообразная. Содержания Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} не превышают 10 мг/л, в отдельных водно-грязевых котлах достигают 20-30 мг/л, часто встречается Al^{3+} (до 40 мг/л).

Парящая долина расположена на плоскодонной площадке, центральную часть которой пересекает руч. Фумарольный. Данная площадка является водосбором для

нескольких ручьев, она в значительной мере обводнена, поэтому здесь не встречаются «сухие» парогазовые струи, доминантной формой являются кипящие/газирующие котлы с водой и грязью, а также прогретые площадки с разнообразными солевыми выпотами (рис. 1г). По химическому и газовому составу термальные воды Парящей долины схожи с водами Верхнего термального поля, но отличаются более низкой минерализацией (до 1.5 г/л).

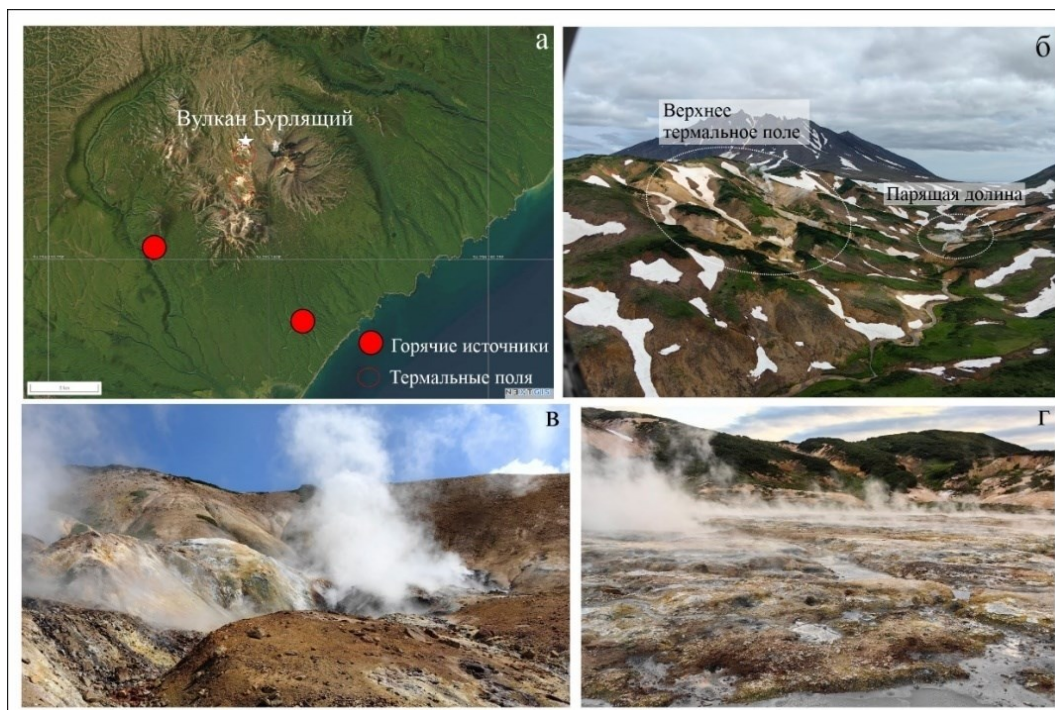


Рис. 1. Вулканический массив Большой Семячик (а) и вулкан Бурлящий (б) с термоаномалиями: Верхнее термальное поле (в) и Парящая долина (г).

Методы исследования

Образцы солевых выпотов были отобраны в ходе полевых работ в районе вулканического массива Большой Семячик в августе 2023 г. Для данной публикации используются результаты исследований трех образцов, каждый из которых содержит комплекс минералов, образующихся в единых условиях на одном участке. Два образца (Бр-137 и Бр-142а) отобраны на Верхнем термальном поле и один (Бр-161) – в Парящей долине.

Инструментальные исследования проведены на базе Центра коллективного пользования ИВиС ДВО РАН. Инфракрасные спектры поглощения записывались с помощью инфракрасного Фурье-спектрофотометра IRAffinity-1, Shimadzu (Япония). Препараты для съемки инфракрасных (ИК) спектров готовили путем растирания образца с бромидом калия (спектрально чистым) в агатовой ступке и прессованием в таблетки ручным мини-прессом. ИК-спектры снимались в интервале волновых чисел $400-4000\text{ см}^{-1}$, с разрешением 4 см^{-1} , число сканов 100. Дифрактометрические исследования проводились на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 MAX Shimadzu (Япония). Режим съемки: излучение $\text{CuK}\alpha$, в интервале углов $6-55^\circ$, напряжение 30 кВ, ток 30 мА, в режиме записи непрерывного сканирования. Скорость сканирования $4^\circ/\text{мин}$, шаг сканирования 0.1° . Использовалась система поликапиллярной оптики. Идентификация исследуемых образцов выполнялась сравнением полученных рефлексов с эталонными дифрактограммами базы данных (PDF-2). Элементный состав минералов определялся на сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 TESCAN. Режим съемки – ускоряющее напряжение катода 20 кВ.

Минеральный состав солей

По результатам инфракрасной спектроскопии, один из образцов Верхнего поля (Бр-137) представлен галотрихитом $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, второй (Бр-142а) – чермигитом $(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, проба Парящей долины (Бр-161) – гипсом $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 2).

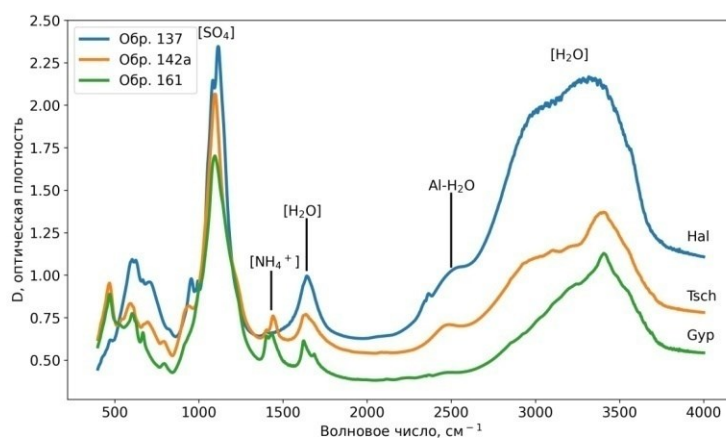


Рис. 2. Инфракрасные спектры растворимых солей термопроявления вулкана Бурлящий: галотрихита (Hal), чермигита (Tsch) и гипса (Gyp).

Нужно отметить, что чермигит на вулкане Бурлящий обнаружен еще в середине 1980-х гг. [6]. Было выявлено, что чермигит формируется на поверхности аргиллитизированных пород в процессе испарения растворов аммонийно-сульфатного состава.

На спектрах растворимых водных сульфатов фиксируются полосы поглощения воды, в том числе координированной к алюминию. На многих спектрах фиксируются полосы аммония, что отражает специфику минералообразующей среды, так как растворимые соли кристаллизуются из аммонийно-сульфатных растворов. Соответственно, фиксируются полосы сульфат-иона – основная полоса поглощения около $1100\text{--}1115\text{ см}^{-1}$. Интенсивная полоса поглощения в высокочастотной области $3000\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ характерна для хорошо растворимых гидратированных сульфатов, которые разлагаются преимущественно при температуре ниже $100\text{ }^\circ\text{C}$.

По результатам дифрактометрических исследований, в образце Бр-137 Верхнего термального поля, помимо галотрихита, выявлен чермигит, а в пробе из Парящей долины гипс состоит в минеральной ассоциации с буссенготитом $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (рис. 3).

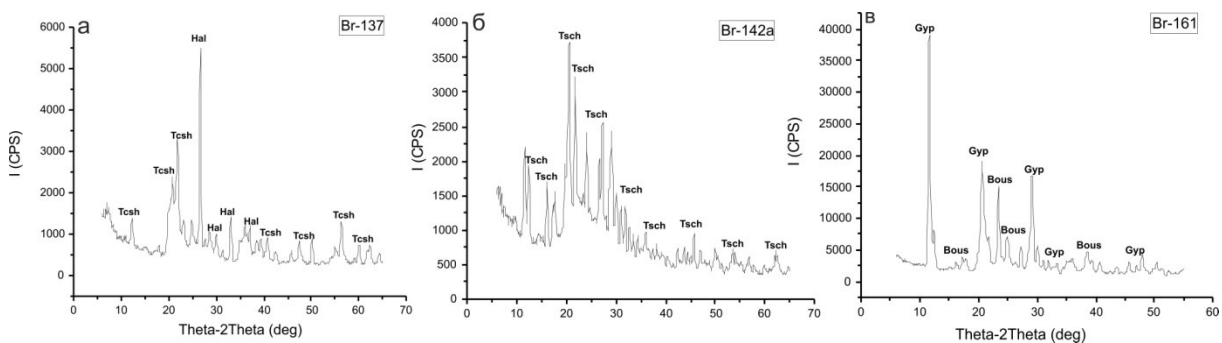


Рис. 3. Дифрактограммы образцов Бр-137, Бр-142а, Бр-161. а – чермигит (Tsch) и галотрихит (Gal), б – чермигит (Tsch), в – гипс (Gyp) и буссенготит (Bous).

Использование сканирующей электронной микроскопии подтвердило и добавило данные, полученные при использовании ИК-спектроскопии и

дифрактометрии. В образцах с Верхнего термального поля определены чермигит и галотрихит. В пробе, отобранной в Парящей долине, помимо гипса и буссенготита, выявлен пиракмонит $(\text{NH}_4)_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$. На рис. 4 показаны главные выявленные минералы.

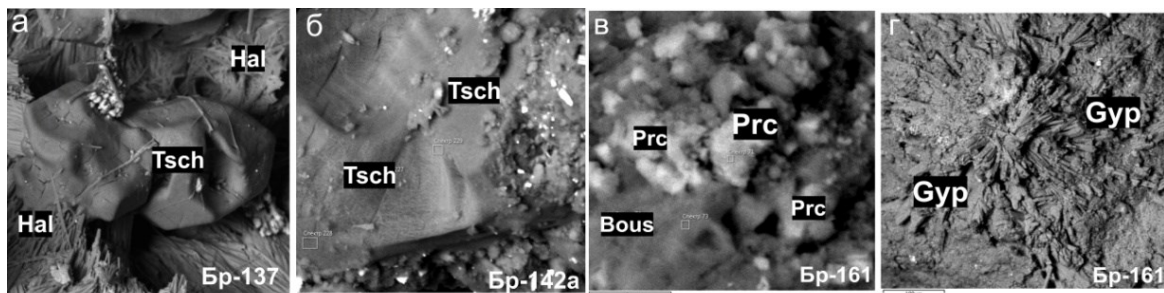


Рис. 4. Главные минералы гидротермальной системы вулкана Бурлящий: а – чермигит (Tsch) с галотрихитом (Gal), б – чермигит (Tsch), в – пиракмонит (Prc) с буссенготитом (Bous), г – гипс (Gyp). Бр-137, Бр-142а, Бр-161 – номера образцов.

Выводы

По результатам минералогических исследований, образцы солевых выцветов вулкана Бурлящий представлены галотрихитом, чермигитом, гипсом, буссенготитом и пиракмонитом. Все эти минералы представляют собой аммониево-сульфатную группу с разными катионами (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+}) и сульфатную группу Ca^{2+} и Al^{3+} .

В итоге, наши исследования дополняют работу, проведенную в 1980-х гг. предыдущими исследователями [6]. Также, похожий минеральный состав солевых выцветов воспроизводился в лабораторных условиях при выпаривании поровых растворов гидротермальных глин, как показано в работе [7] на примере термальных полей Камбального хребта и Кошелевского массива. При воспроизведении условий формирования вторичных минералов с участием термальных вод $\text{NH}_4\text{-SO}_4$ состава, получены соли, аналогичные солевым выцветам вулкана Бурлящий, включая соединения аммониевого ряда.

Работа выполнена по госзаданию ИВиС ДВО РАН в рамках темы НИР «Роль гидротермальных систем Курило-Камчатской вулканической дуги в перераспределении мантийного и корового вещества, в процессах минерало-рудогенеза» (FWME-2024-0006).

Список литературы

1. Аверьев В.В., Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А. и др. Вулканизм и гидротермы Узон-Семячинского геотермального района на Камчатке. В кн.: Вулканизм и глубины Земли. / Отв. ред. Е.К. Мархинин, С.И. Набоко. Москва: Наука, 1971. С. 207-211.
2. Вакин Е.А. Гидротермы вулканического массива Большой Семячик // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, 1976. С. 212-236.
3. Влодавец В.И. Вулканы и образования Семячинского района // Труды Лаборатории вулканологии АН СССР. 1958. Вып. 15. 195 с.
4. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Вулканический массив Большой Семячик, Камчатка: геологическое строение, структурная позиция // Вулканология и сейсмология. 2014. № 1. С. 3-19.
5. Набоко С.И. Металлоносность современных гидротерм в областях тектоно-магматической активности. Москва: Наука, 1980. 200 с.
6. Серафимова Е.К., Карпов Г.А. Аммониевые квасцы (чермигит) в выцветах термальных полей вулкана Бурлящий (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1989. № 5. С. 100-103.
7. Сергеева А.В., Житова Е.С., Нуждаев А.А., Назарова М.А. Моделирование процесса минералообразования на термоаномалиях с аммонийно-сульфатными термальными водами: роль водородного показателя (pH) // Вулканология и сейсмология. 2022. № 1. С. 39-53.