

Минеральное разнообразие солей термальных полей Южной Камчатки**Е.С.Житова^{1,2}, А.А.Нуждаев¹**¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, e-mail: zhitova_es@mail.ru*²*Санкт-Петербургский государственный Университет, Санкт-Петербург*

В работе проведена идентификация минералов, образующихся на поверхности Северо-Камбального и Восточно-Паужетского термальных полей путем кристаллизации при температуре порядка 50-100 °С из поровых гидротермальных растворов в некоторых случаях с участием ионов парогазовых струй. Среди них обнаружены как широко распространённые минералы, так и те, которые для объектов Камчатки ранее экспериментально не определялись, включая новую природную фазу из группы вольтаита.

Минералы, покрывающие поверхность Северо-Камбального и Восточно-Паужетского термальных полей (Южная Камчатка, Россия), отобранные в ходе полевых исследований, были изучены с помощью комплекса кристаллохимических методов, что позволило установить их минералогическую принадлежность. Изученные в работе минералы покрывают прогретую поверхность термального поля (температура порядка 50-100 °С), их образование интенсивно происходит в сухую погоду, а наибольшее содержание обнаружено вокруг парогазовых струй (т.е. в сильно прогретых местах, ассоциирующихся с выходом газа). Формирование солей происходит в зоне действия кислых растворов. Визуально они, как правило, представляют собой тонкодисперсный материал или корки белого, бело-жёлтого цвета (рис. 1).



Рис. 1. Северо-Камбальное термальное поле: а) общий вид, б) остатки лавового потока, покрытые солями.

В ходе исследования были установлены следующие минералы: алуноген, самородная сера, чермигит, гипс, минерал группыгалотрихита (предварительно определен как билинит) и новая природная фаза, относящаяся к группе вольтаита, о которой подробно написано далее.

Среди указанных минералов наиболее распространённым является алуноген $Al_2(SO_4)_3(H_2O)_{17}$. Предположительно, он представляет первую по времени формирования фазу среди изученных минералов, поскольку зафиксирован (1) на порошковых рентгенограммах свежесформированных образцов, где присутствуют только рефлексы алуногена, причем по характеру рефлексов он является низкокristаллическим. Визуально он представляет собой белую тонкодисперсную массу (2), время образования и отбора образцов которых разделено несколькими днями сухой погоды (до недели), обнаруженную в местах выхода парогазовых струй с температурой около 100 °С, в данном случае, алуноген встречен в ассоциации с другими сульфатными минералами и представлен прозрачными бесцветными пластинками (рис. 2). Помимо находок на

Северо-Камбальном и Восточно-Паужетском термальных полях, в пределах Камчатки алуноген был описан, например, на вулканах Авачинский [6] и Мутновский[4], а также в кальдере Узон [2].

Гипс $CaSO_4(H_2O)_2$ был встречен в виде белого мелкокристаллического материала, проявления самородной серы S (ромбическая) обнаружены в непосредственной близости

от парогазовых струй; находка гипса и самородной серы на термальном поле не представляется неожиданной, ввиду того, что гипс является самым распространённым природным сульфатом, а самородная сера часто проявлена на активных термальных полях.

Среди установленных фаз, наибольший интерес представляют *минералы группы галотрихита* (поскольку идентификация минерала не завершена, то далее дается общая формула группы близких минералов) $M^{2+}M^{3+}_2(SO_4)_4(H_2O)_{22}$, где $M^{2+} = Fe^{2+}, Mg, Mn, Zn, Co$, $M^{3+} = Al, Fe^{3+}$; *чермигит* $NH_4Al(SO_4)_2(H_2O)_{12}$ и *новая природная фаза группы вольтаита* $(NH_4)_2Fe^{2+}_5Fe^{3+}_3(SO_4)_{12}(H_2O)_{18}$. В ходе изучения химического состава и кристаллической структуры новой природной фазы группы вольтаита были задействованы следующие методы: монокристаллическая и порошковая рентгеновская дифракция, инфракрасная и Мессбауэровская спектроскопия, электронно-зондовый микроанализ, изучение оптических свойств, которые позволили провести ее детальную характеристику. По этому материалу подана заявка в Комиссию по Новым Минералам, Номенклатуре и Классификации (CNMNC). Находки минералов группы галотрихита представляют интерес, поскольку повсеместно на Камчатке и Курильских о-вах в условиях, связанных с активным вулканическим процессом мало описаны, за исключением апджонита $MnAl_2(SO_4)_2(H_2O)_{22}$ на вулкане Мутновский [5]; галотрихита $FeAl_2(SO_4)_2(H_2O)_{22}$ в кальдере Узон [2] и термальных источниках вулкана Эбеко [3], также нужно отметить, что детально кристаллохимическое изучение указанных находок, как правило, не проводилось. Чермигит и новая природная фаза из группы вольтаита являются представителями аммониевой минерализации. На данный момент известно всего 67 аммониевых минералов при общем количестве минеральных видов порядка 5200. Большая часть из них образуется в качестве возгонов фумарол или горячих источников, также значительное количество аммониевых минералов образуется при контакте с органическим веществом, в качестве которого служат гуано или уголь, во втором случае минералообразование происходит при горении. В нашей стране активное образование аммониевых фаз хорошо известно в Челябинском угольном бассейне, где они формируются в результате антропогенного пожара, т.е. имеют не природный генезис, а связаны с деятельностью человека, и не могут называться минералами. В то время как на Северо-Камбальном и Восточно-Паужетском термальных полях, где концентрация $(NH_4)^+$ в гидротермальном растворе составляет 10-750 мг/л [1], происходит уникальное природное образование аммониевых фаз, отражающих специфику минералообразования в условиях геотермального процесса.

Все идентифицированные в ходе исследования минералы являются гидратированными сульфатами, которые по всей видимости, образуются при конденсации парогазовой фазы гидротермального раствора, предполагающей реакцию сульфатного

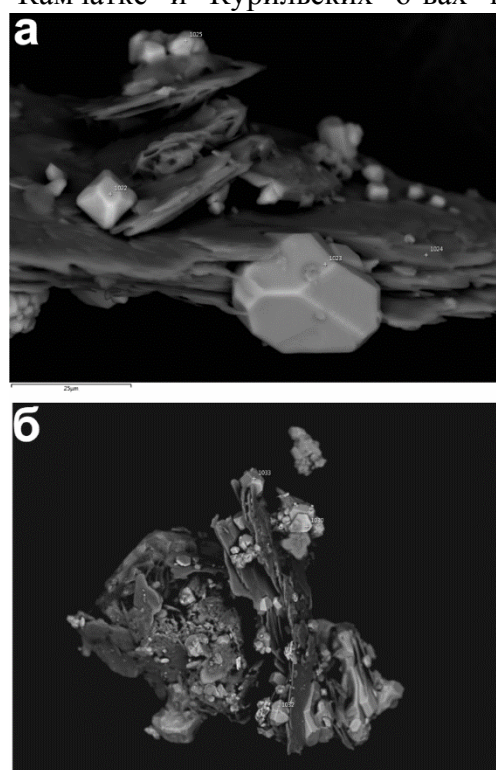


Рис. 2. Изображения, полученные на электронном микроскопе в обратно-рассеянных электронах: (а) кристаллы новой природной фазы из группы вольтаита на подложке алуногена; (б) новая фаза группы вольтаита в ассоциации с чермигитом и алуногеном.

аниона с металлами, а в случае чермгита и новой природной фазы группы вольтаита, также с ионами $(\text{NH}_4)^+$.

Отбор материала проведен в ходе Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН. Экспериментальные исследования выполнены с использованием приборов Ресурсных Центров СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» и «Геомодель».

Список литературы

1. *Огородова А.С., Набоко С.И., Федотов С.А. и др.* Рассеянные элементы в современных гидротермально-изменённых породах и минералах на примере термального поля группы Южно-Камбальных паровых струй и Паужетских гидротерм // Отчет отдела постмагматических процессов Института вулканологии Академии Наук СССР. 1971.
2. *Федотов С.А., Масуренков Ю.П.* Действующие вулканы Камчатки. М: Наука, 1991. 302 с.
3. *Bortnikova S. B., Bessonova E. P., Zelenskii M. E.* Hydrogeochemistry of thermal springs at Ebeco volcano (Kuril Islands) // Тез. Доклада (Материалы). World Geothermal Congress. Antalia. 2005. P. 1-5.
4. *Bortnikova S. B., Bessonova E. P., Gavrilenko G. M., Vernikovskaya I. V., Bortnikova S. P., Palchik N. A.* Hydrogeochemistry of thermal sources, Mutnovsky volcano, south Kamchatka (Russia). // Тез. Доклада (Материалы). The 33rd workshop on geothermal reservoir engineering. Stanford: Stanford University, 2008.
5. *Bortnikova S. B., Bortnikova S. P., Manstein Yu, A., Kiryuhin A. V., Vernikovskaya I. V., Palchik N. A.* Thermal springs hydrogeochemistry and structure at North-Mutnovskoe fumarole field (South Kamchatka, Russia). // Тез. Доклада (Материалы). The 34th workshop on geothermal reservoir engineering. Stanford: Stanford University, 2009.
6. *Palache C., Berman H., Frondel C.* The System of Mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana. Yale University, 1951. 1124 p.