

**И. В. Чаплыгин**

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН, г. Москва,  
ichap@igem.ru*

### Проявления эксгаляционного золота на активных вулканах

Процесс переноса и отложения золота в древних рудообразующих системах невозможно наблюдать напрямую. Исследуя месторождения золота, геологи видят конечный результат различных процессов и могут исследовать формы переноса золота, его концентрации в минералообразующем флюиде и условия отложения лишь косвенными методами. Непосредственную информацию можно получить, изучая высокотемпературные фумарольные системы активных вулканов, где в настоящее время происходят процессы переноса и отложения металлов. Вулканические или фумарольные газы, в составе которых высока доля магматического флюида, можно рассматривать в качестве аналога рудообразующих флюидов ряда месторождений, характеризующихся высокими температурами и низкими давлениями образования. Рост рудных минералов из фумарольных газов напрямую свидетельствует о принципиальной возможности газового переноса металлов.

На данный момент минералы золота были обнаружены на нескольких вулканах. Наиболее обильное фумарольное золото было найдено в 1979 г. на шлаковых конусах Большого Трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) 1975–76 гг. на Камчатке (рис. 1а) [Вергасова и др., 1982]. Золото высокопробное; представлено кристаллами различной морфологии размером до 0.3 мм. В сублиматах, отлагавшихся в ходе Нового Трещинного Толбачинского извержения (НТТИ) 2012–13 гг., золото обнаружено как в виде отдельных кристаллов, так и в форме сетчатых агрегатов (рис. 1б) [Chaplygin et al., 2015]. Пластинчатые и октаэдрические кристаллы беспримесного золота размером до 40 мкм были установлены в сублиматах, осевших на внутренней стенке кварцевой трубки, помещенной в фумарольный канал с температурой 800 °С на вулкане Колима (Мексика) [Taran et al., 2000]. Выделения Au–Cu–Ag сплавов и самородного золота описаны в кратере Ла Фосса, Италия [Fulignati, Sbrana, 1998], и на

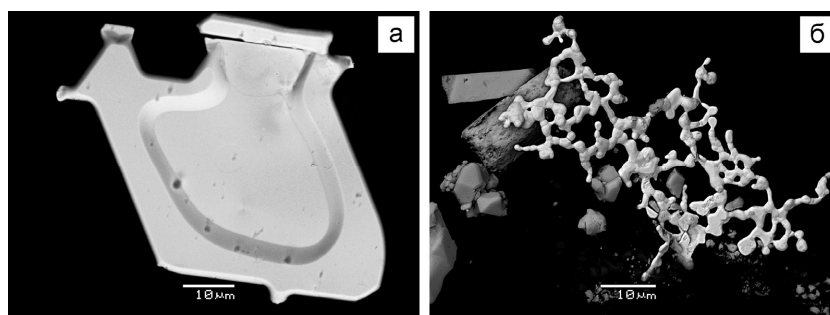


Рис. 1. Золото вулкана Толбачик: а) скелетный кристалл со второго конуса БТТИ 1975–76 гг.; б) сетчатый агрегат изометричных и пластинчатых кристаллов с лавового потока НТТИ 2012–13 гг.

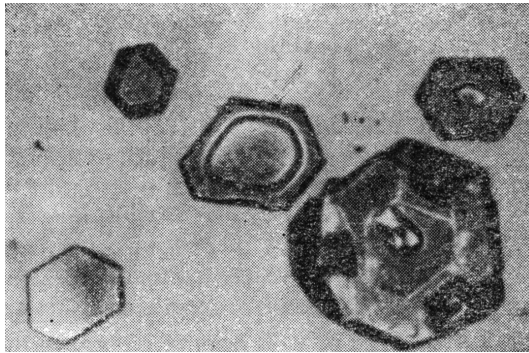


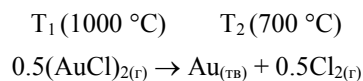
Рис. 2. Морфология кристаллов золота размером 0.1–0.7 мм, выращенных методом газотранспортных реакций [Шефер, 1964].

вулкане Кудрявый на Курилах [Yudovskaya et al., 2006], где фумаролы содержат существенную долю  $H_2S$ . Частицы самородного золота размером 20–60 мкм найдены в аэрозолях и снеге вокруг вулкана Эребус

в Антарктиде [Meeker et al., 1991], а также в сублиматах базальтового вулкана Эрта-Але в Эфиопии [Zelenski et al., 2013].

В андезибазальтах НТТИ 2012 г. также описаны самородки золота в сростании с кварцем, альбитом и калиевым полевым шпатом размером до 0.9 мм. Эта находка привела авторов к выводу о существовании на глубине, во вмещающих породах, эпitherмальных золотоносных жил, вещество которых попадает в магматические каналы в ходе извержения, и является источником эксгалационного золота [Zelenski et al., 2016].

Предполагается, что наиболее вероятным механизмом формирования сублимационной рудной минерализации, в том числе и золота, в условиях фумарол, являются газотранспортные реакции. Суть их заключается в распаде металлоносного газообразного вещества с образованием твердой фазы и другого газообразного вещества. Частным случаем таких реакций могут быть реакции диспропорционирования, которые приводят к появлению частиц самородных металлов в фумарольной обстановке. В работе Г. Шефера [1964], посвященной транспорту неорганических веществ через газовую фазу, приведена одна из возможных газотранспортных реакций, приводящих к отложению кристаллов золота (рис. 2) при переносе хлоридными комплексами:



Транспорт золота в эксперименте был осуществлен в закрытой ампуле, помещенной в термоградиентную печь. Фумарольные системы являются открытыми (проточными) системами, однако для них также характерен высокий термический градиент (до 100 °C на 10 см). Здесь, вероятно, протекают те же реакции, но образующееся газообразное вещество уносится дальше потоком газа.

Наши данные по составам вулканических газов вулканов Камчатки и Курил, а также опубликованные данные по составам газов других упомянутых вулканов позволяют предположить, что беспримесное золото в виде кристаллов формируется в окисленных, часто «сухих», фумаролах, тогда как частицы тройных и двойных сплавов золота обнаруживаются в восстановленных, существенно водных, фумаролах.

*Исследования поддержаны грантом РФФ (проект № 15-17-20011).*

## Литература

Вергасова Л. П., Набоко С. И., Серафимова Е. К., Старова Г. Л., Филатов С. К. Эксгалационное самородное золото // Доклады АН СССР. 1982. Т. 264 № 1. С. 201–204.

- Шефер Г.* Химические транспортные реакции. М.: Мир, 1964. 191 с.
- Chaplygin I. V., Yudovskaya M. A., Vergasova L. P., Mokhov A. V.* Native gold from volcanic gases at Tolbachik 1975–76 and 2012–13 Fissure Eruptions, Kamchatka // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2015. Vol. 307. P. 200–209.
- Fulginiti P., Sbrana A.* Presence of native gold and tellurium in the active high-sulfidation hydrothermal system of the La Fossa volcano (Vulcano, Italy) // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1998. Vol. 86. P. 187–198.
- Meeker K., Chuan R., Kyle P. R., Palais J.* Emission of elemental gold particles from Mount Erebus, Ross Island, Antarctica // *Geophysical Research Letters*. 1991. Vol. 18. P. 1405–1408.
- Taran Yu. A., Bernard A., Gavilanes J.-C., Africano F.* Native gold in mineral precipitates from high-temperature volcanic gases of Colima volcano, Mexico // *Applied Geochemistry*. 2000. Vol. 15. P. 337–346.
- Yudovskaya M. A., Distler V. V., Chaplygin I. V., Mokhov A. V., Trubkin N. V., Gorbacheva S. A.* Gaseous transport and deposition of gold in magmatic fluid: evidence from the active Kudryavy volcano, Kurile Islands // *Mineralium Deposita*. 2006. Vol. 40. P. 828–848.
- Zelenski M. E., Fischer T. P., de Moor J. M., Marty B., Zimmermann L., Ayalew D., Nekrasov A. N., Karandashev V. K.* Trace elements in the gas emissions from the Erta Ale volcano, Afar, Ethiopia // *Chemical Geology*. 2013. Vol. 357. P. 95–116.
- Zelenski M., Kamenetsky V. S., Hedenquist J.* Gold recycling and enrichment beneath volcanoes: A case study of Tolbachik, Kamchatka // *Earth and Planetary Science Letters*. 2016. Vol. 43. P. 735–746.