

## МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГАЗОВ

И.В. Чаплыгин, М.А. Юдовская

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Москва, e-mail: ichap@igem.ru, e-mail: maiya@igem.ru

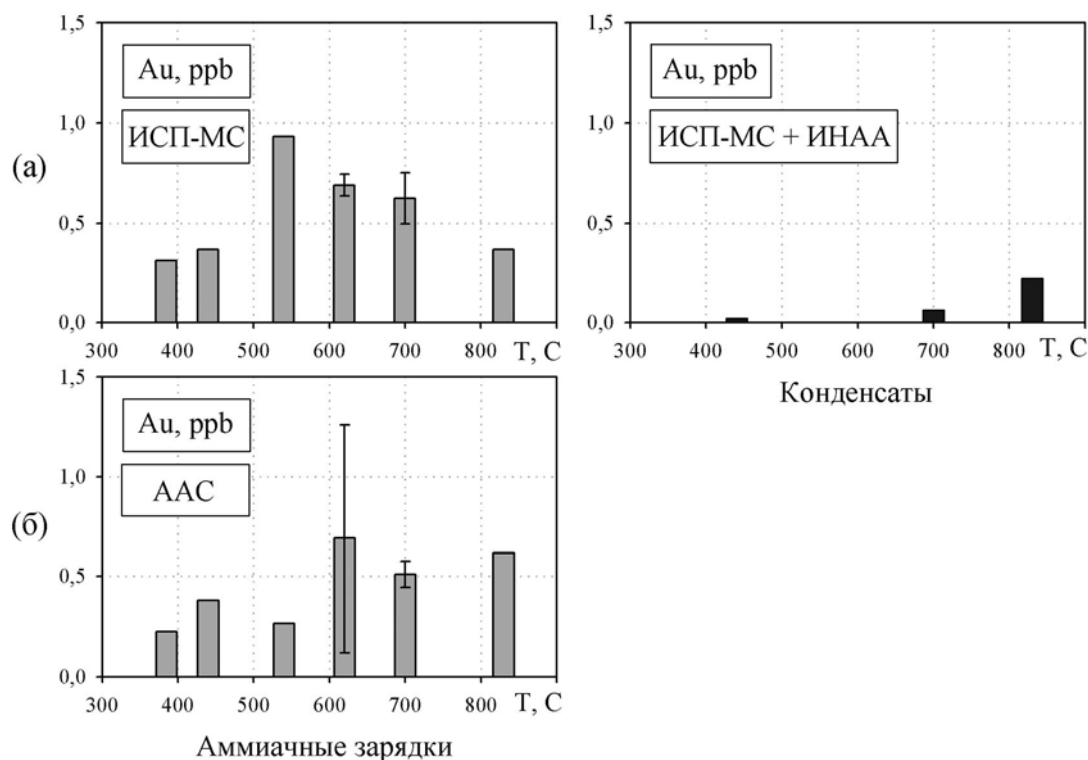
Высокотемпературные вулканические флюиды справедливо рассматриваются как аналоги рудообразующих флюидов и, таким образом, представляют собой ценный источник информации для понимания поведения элементов при газо-гидротермальном рудообразовании [Williams-Jones & Heinrich, 2005; Giggenbach, 2003].

В последнее время с развитием локальных методов анализа (ИСП-МС с лазерной абляцией) резко возросло количество аналитических данных по содержаниям металлов во флюидных включениях [Williams-Jones & Heinrich, 2005; Heinrich, 2005]. Эти данные наряду с ограниченным числом экспериментальных и расчетных термодинамических данных предполагают, что по крайней мере такие металлы как медь, золото и мышьяк могут более эффективно переноситься малоплотной газовой фазой по сравнению с плотными жидкими гидротермальными растворами.

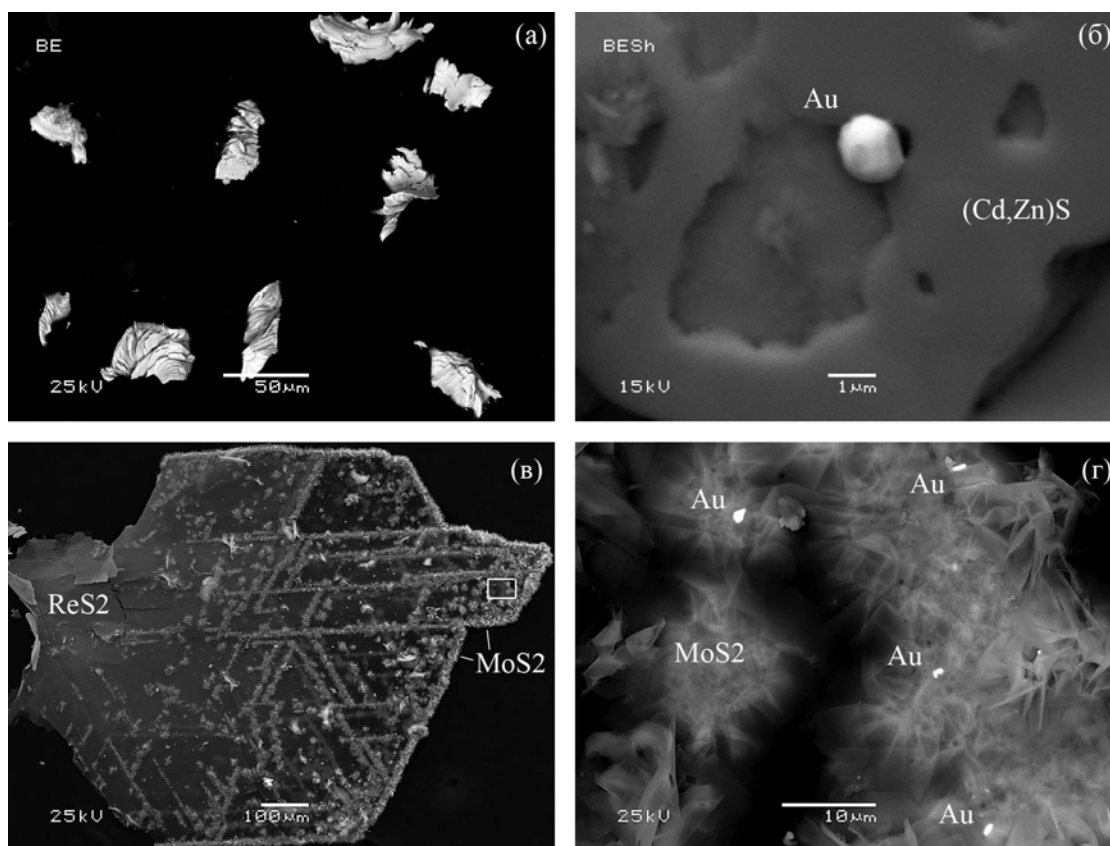
Для того чтобы оценить транспортирующую и рудообразующую способность высокотемпературных вулканических газов мы проводим в течение последних 8 лет опробование газов, конденсатов и сублиматов активной фумарольной системы вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курилы). При анализе вещества, представленного газообразной, жидкой и твердой фазой, используются как классические методы анализа (химическое и хроматографическое определение), так и современные инструментальные методы (ИСП-МС, ААС, ИНАА, РФА, СЭМ, РСА).

Вулкан Кудрявый замечателен тем, что его фумарольная система действует стационарно более 100 лет, при этом температура газов достигает 940 °С [Коржинский и др., 2002]. В кратерной части вулкана расположено четыре высокотемпературных поля ( $T > 200^{\circ}\text{C}$ ) общей площадью около 2600 м<sup>2</sup> и несколько низкотемпературных площадок. На основе данных по прямому измерению скоростей фумарол, полученных в 1993–1995 гг., средняя величина расхода газа была оценена как 115±30 г/с с 1 м<sup>2</sup>, а валовая эмиссия фумарольных газов - 30000±7500 т/сутки [Бочарников и др., 2008]. Изучение металлоносности газов этого вулкана проводилось с 1991 г. Накопленные к настоящему периоду данные по концентрациям элементов в газах вулкана Кудрявый являются крайне противоречивыми и по содержанию рения, например, различаются на три порядка - от первых ppb по данным анализа жидких конденсатов вулканического газа до первых ppm по данным адсорбционного метода (анализировался сорбент, через который пропущено определенное количество газа). В нашем исследовании концентрации металлов в газах оценены не только разными аналитическими методами, но и с помощью разных методов пробоотбора: жидких конденсатов и в колбы Гиггенбаха с аммиачными зарядками [Sortino et al., 2006]. Полученные с помощью двух методов пробоотбора новые данные хорошо согласуются между собой и совпадают с полученными прежде данными по конденсатам [Taran et al., 1995; Wahreberger et al., 2002; Fischer et al., 1998]. Следует учесть, что при использованных методах пробоотбора, мы не можем получить завышенные данные, так как часть вещества неизбежно оседает в газоотборных трубках. Концентрации рения, меди и золота в высокотемпературных газах составляют первые ppb (рис. 1). Вместе с этим отдельные высокие содержания рения в конденсате (до 210 ppb) были получены ранее методом изотопного разбавления, что может быть связано с попаданием твердых частиц.

Полученные концентрации золота и меди в газе гораздо ниже содержаний, установленных в существенно-газовых флюидных включениях в рудах медно-порфировых месторождений. Вместе с этим полученный порядок концентраций обеспечивает не только кристаллизацию отдельных минеральных фаз золота, рения и других металлов (рис. 2), но и приводит к формированию в фумарольной системе богатых рудных образований, хотя и в небольших масштабах.



**Рис. 1.** Зависимость концентраций золота в газах вулкана Кудрявый от температуры: (а) – ИСП-МС определение в растворах и ИНАА определение в осадках; (б) - атомно-адсорбционное определение. Светлая заливка - растворы, темная заливка - осадки. Отрезками показан разброс значений.



**Рис. 2.** Формы выделения золота в продуктах fumarol вулкана Кудрявый: (а) - чешуйчатые агрегаты Cu–Au–Ag тройного сплава T - 690 eC; (б) - кристалл золота на кристалле цинк-кадмиевого сульфида T - 400 eC; (в) - кристалл рениита с ориентированными нарастаниями молибденита T - 485 eC; (г) – микронные выделения золота, связанные с нарастаниями молибденита (увеличенный фрагмент фото (в), отмеченный прямоугольником).

Золотая минерализация установленная в отложениях многих вулканов (на новых Толбачинских конусах, на вулкане Колима, Эребус, Этна) кристаллизуется в широком диапазоне температур и в различных геохимических обстановках [Вергасова и др., 2000; Taran et al, 2001]. Состав флюида вулкана Кудрявый наиболее близок по солевому составу к гидротермальным флюидам вулканогенных медно-порфировых и эпитеермальных месторождений. Газы вулкана Кудрявый представляют собой преимущественно водяной пар (92–98 мол. %), с подчиненными количествами CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, HCl и HF. Фугитивность кислорода находится примерно между буферами NNO и HM.

Вынос металлов газами вулкана Кудрявый может быть оценен на основе новых данных по концентрациям металлов в исследованных пробах, а также известных данных по площадям fumarольных полей и величины среднего расхода газа [Бочарников и др., 1998] Рассчитанный суммарный вынос составляет за 100 лет (т): Re – до 6,3, Mo – до 100, Cu - до 120, Au - до 0,4. Учитывая, что время действия отдельных открытых вулканических систем может составлять 1000 и более лет, а время становления интрузивов может составлять десятки и сотни тысяч лет, очевидно, что флюид с такими концентрациями в состоянии сформировать месторождение.

### Список литературы

**Бочарников Р.Е., Князик В.А., Штейнберг А.С., Штейнберг Г.С.** Эмиссия газов, рудных и петрогенных элементов на вулкане Кудрявый, остров Итуруп, Курильские острова // ДАН. 1998. Т. 361. № 5. С. 671–674.

**Вергасова Л.П., Старова Г.Л., Серафимова Е.К., Филатов С.К., Философова Т.М., Дунин-Барковский Р.Л.** Самородное золото вулканических эксгаляций шлаковых конусов Большого Трещинного Толбачинского Извержения // Вулканология и сейсмология, 2000. № 5. С. 19–27.

**Коржинский М.А., Бочарников Р.Е., Ткаченко С.И., Жданов Н.Н., Штейнберг Г.С.** Особенности fumarольной активности вулкана Кудрявый в период 1991–1999 гг. и фреатическое извержение 1999 г. // Петрология, 2002. Т. 10. С. 611–629.

**Fischer T.P., Shuttleworth S., O'Day P.A.** Determination of trace and platinum-group elements in high ionic-strength volcanic fluids by sector-field inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) // Fresenius J. Anal. Chem. 1998. V. 362. P. 457–464.

**Giggenbach, W.F.** Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries // Soc. Econ. Geol. Spec. Publ. 2003. V. 10. P. 1–18.

**Heinrich C.A.** The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study // Miner. Depos. 2005. V. 39. P. 864–889.

**Sortino F., Nonell A., Toutain J.P., Munoz M., Valladon M., Volpicelli G.** A new method for sampling fumarolic gases: Analysis of major, minor and metallic trace elements with ammonia solutions // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2006. V. 158. P. 244–256.

**Taran Yu.A., Bernard A., Gavilanes J.-C., Africano F.** Native gold in mineral precipitates from high-temperature volcanic gases of Colima volcano, Mexico // Appl. Geochem. 2000. V. 15. P. 337–346.

**Wahrenberger C., Seward T.M., Dietrich V.** Volatile trace-element transport in high-temperature gases from Kudryavy volcano (Iturup, Kurile Islands, Russia) // In: Hellmann R, Wood SA (eds) Water-rock interaction: A tribute to David A. Crerar: Geochem. Soc. Spec. Publication 7, 2002. P. 307–327.

**Williams-Jones A.E., Heinrich C.A.** Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits // Econ. Geol. 2005. V. 100. P. 1287–1312.