

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ЗОЛОТА В МАЛОПЛОТНОЙ ГАЗОПАРОВОЙ ФАЗЕ СИСТЕМЫ Au-H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>S-Cl ПРИ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Закиров И.В., Дадзе Т.П., Графчиков А.А., Каширцева Г.А., Сретенская Н.Г. (ИЭМ РАН), Волчонкова В.Л. (ИМЕТ РАН)**

*ziv@iem.ac.ru*; Факс (496) 524-44-25; Тел. (496) 522-58-48

---

Ключевые слова: эксперимент, сероводород, золото, малоплотные среды

В настоящее время транспорт золота в плотных водных растворах при повышенных температурах и давлениях изучен достаточно хорошо. Для малоплотных газопаровых растворов данные по растворимости золота появились только в последние годы и пока очень ограничены по составу. На основании немногих экспериментальных исследований и многочисленных геологических наблюдений хорошо показана геохимическая связь золота с серой, сероводородом и хлором. В системе Au-HCl-H<sub>2</sub>O [1] получены данные по значительной растворимости золота в водносолянокислом флюиде и наличие в газовой фазе комплекса AuCl<sub>m</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>. С другой стороны, известно, что в составе высокотемпературных гидротермальных флюидов преобладают такие компоненты как вода, сера, хлор и сероводород, о чем свидетельствует состав вулканических газов. Изучение флюидных включений в минералах, образованных при температурах 400-700°C также указывает на предрасположенность золота к концентрированию в газовой фазе [2]. В связи с этим была поставлена задача экспериментального и теоретического исследования поведения золота в малоплотных газопаровых растворах системы Au-H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>S-Cl. Это исследование позволит получить количественные данные о переносе золота в газовой фазе, распределении золота между жидкой и газовой фазами и условиях его мобилизации. Использовалась созданная нами установка, представляющая собой реактор, изготовленный из титанового сплава, пассивированного в азотной кислоте. Внутри автоклава помещается ампула также из сплава ВТ-8, которая может герметически запирается при любых параметрах в процессе опытов с помощью разработанного нами «горячего» вентиля, позволяя таким образом отбирать пробу любой фазы «in situ» [3]. Нагревание автоклава осуществляется в безградиентной зоне печи сопротивления, имеющей две независимые обмотки, ток в которых регулируется с помощью высокоточных регуляторов температуры ВРТ-3 и контролируется двумя хромель-алюмелевыми термопарами. Давление измеряется в течение всего эксперимента с помощью датчика давления Д-100, для чего в обтюратор реактора вварен титановый капилляр, снабженный микровентилем. В качестве источника H<sub>2</sub>S использовали тиоацетамид (CH<sub>3</sub>CSNH<sub>2</sub>), который в присутствии кислоты быстро разлагается с выделением стехиометрического количества сероводорода. При этом H<sub>2</sub>S является преобладающим соединением, содержащим серу [4]. При изучении систем с участием элементов переменной валентности большое значение имеет контроль летучести кислорода. В качестве кислородного буфера мы использовали пару магнетит-гематит. После каждого опыта состав буфера определялся рентгенофазовым анализом. Для проведения опыта золотую пластину закрепляли в верхней части реактора, а буферную смесь в титановом контейнере и навеску тиоацетамида помещали на дно автоклава. В качестве растворителя использовались растворы соляной кислоты. Пустая внутренняя ампула запиралась «горячим» вентилем, автоклав также герметически закрывался и помещался в печь для нагревания. По достижении нужной температуры (350, 400, 440°C) внутренняя ампула открывалась, и вся система выдерживалась в таком состоянии в течение 7-10 дней при постоянном контроле температуры и давления. После этого внутренняя ампула запиралась, и автоклав закаливался в проточной холодной воде. В результате эксперимента во внутренней ампуле собирался конденсат газопаровой фазы, а на дне автоклава - раствор жидкой фазы с растворенным в них золотом. После количественного сбора золота как растворенного в обеих фазах, так и осевшего на стенках ампулы и реактора в процессе закалки, содержание его определялось в химической лаборатории ИМЕТ РАН методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индукционной плазмой на плазменном спектрометре ULTIMA-2 фирмы «Jobin Ivon», Франция.

Результаты экспериментов по растворимости золота

NN опытов	t°C	P, атм.	m <sub>HCl</sub>	m <sub>H<sub>2</sub>S</sub>	жидкая фаза m <sub>Au</sub> •10 <sup>6</sup>	конденсат m <sub>Au</sub> •10 <sup>6</sup>
9	350	184	0.1	0.1	0.573	2.44
10	350	210	0.1	0.1	1.71	11.6
1	400	500	0.01	0.1	2.17	10.5
3	400	390	0.1	0.1	3.90	не отобрана
5	400	295	0.1	0.1	6.15	не отобрана
6	400	297	0.1	0.1	4.87	не отобрана
7	400	290	0.1	0.1	4.57	не отобрана
11	440	350	0.1	0.1	5.47	36.5
13	440	335	0.1	0.5	65.85	141.0

Из табл.1 видно, что с увеличением температуры и концентрации сероводорода в системе растворимость золота заметно возрастает. Кроме того, растворимость золота заметно выше в газопаровой фазе, чем в жидкой. То есть транспорт золота в гидротермальных сульфидсодержащих системах предпочтителен в газопаровой фазе. Исследование данной системы продолжается.

### Литература

1. Archibald S.M., Migdisov A.A., Williams-Jones A.E. The stability of Au-chloride complexes in water vapor at elevated temperatures and pressures // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2001. V.65. N.23. PP. 4413-4423.
2. Ulrich T., Gunther D., Heinrich C.A. Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits // *Nature*. 1999. V. 399. PP. 676-678.
3. Закиров И.В., Сретенская Н.Г. Методика экспериментального определения состав фаз в гетерогенных условиях // *Экспериментальные проблемы геологии*. М.: Изд-во Наука. 1994. СС. 664-667.
4. Дадзе Т.П., Каширцева Г.А., Рыженко Б.Н. О количестве и формах существования золота в сульфидсодержащих растворах при T=300°C // *Геохимия*. 2000. N7. СС. 780-784.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ 05-05-64206*

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(24) 2006*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2006)*

*URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2006/informbul-1\\_2006/hydroterm-5.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/hydroterm-5.pdf)*

*Опубликовано 1 июля 2006 г*

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2006*

*При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна*