

**ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛОВ НА РАСТВОРИМОСТЬ ЗОЛОТА  
В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРАХ  
ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУХОЙ ЛОГ  
(ЛЕНСКИЙ РАЙОН)**

**Матель Н.Л.**

*Институт геохимии СО РАН, Иркутск, matel@igc.irk.ru*

Проведено термодинамическое моделирование равновесной растворимости золота в форме различных комплексов для природных составов гидротермальных рудообразующих растворов при формировании золоторудной, ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации золото-сульфидного месторождения Сухой Лог (Ленский район), методом минимизации свободной энергии системы с использованием программного комплекса «GIBBS». Исходные параметры для моделирования были выбраны на основании данных исследования флюидных включений в минералах руд месторождения. Для моделирования был выбран наиболее важный этап в процессе рудообразования на месторождении Сухой Лог золоторудная, ранняя, высокотемпературная стадия, включающая сидерит-кварц-Ni, Co, Cu, Fe, Zn-сульфидную, Ni, Co-арсенид-сульфоарсенидную с теллуридами и теллуоровисмутидами Au, Ag, Pd, Pb минеральную ассоциацию, где обнаружено увеличение концентрации различных металлов и отложение их в виде сульфидных и других минералов [1, 2].

По данным исследований индивидуальных флюидных включений в кварце и кальците рудных жил месторождения установлен диапазон изменений физико-химических параметров и химического состава минералообразующих флюидов ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации месторождения Сухой Лог: температура 380-285°C, давление 2500-1150 бар, концентрация NaCl = 1,2 моль/кг H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> = 7,0 моль/кг H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> = 0,8 моль/кг H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S = 10<sup>-2</sup> моль/кг H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> = 0,1 моль/кг H<sub>2</sub>O. В составе растворенных солей преобладают хлориды Na, Mg и K. Широкий диапазон вариаций отношения CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> в растворе включений и уменьшение его с падением давления подтверждает, что рудоотложение происходило при взаимодействии высокотемпературных, богатых CO<sub>2</sub> гидротермальных флюидов с органическим веществом рудовмещающих толщ, при изменении окислительно-восстановительных условий [2].

Гидротермальная система в модели включает 9 минералов и 114 компонентов водного раствора H-O-C-Na-K-Mg-Ca-Fe-Cu-Pb-Zn-Si-Cl-S-N-Ag-Au для золоторудной, ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации месторождения Сухой Лог. Динамические аспекты физико-химической модели включают явления переноса химических компонентов движущимся гидротермальным раствором и обмена веществом раствора с вмещающими породами.

В результате проведенного термодинамического моделирования пятой золоторудной, ранней, высокотемпературной минеральной ассоциации, выявлены особенности растворения золота в гидротермальных растворах с участием различных металлов. Установлено ранее, что присутствие Zn, Pb в системе влияет на уменьшение растворимости золота в гидросульфидных AuHS<sup>0</sup>, Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> и Au<sub>2</sub>(HS)<sub>2</sub>S<sup>2-</sup> комплексах, что приводит к отложению золота совместно с сульфидами, с образованием сульфидных минералов [3]. В присутствии в данной гидротермальной системе Co, наблюдается преобладание золота в растворе в гидроксильных Au(OH)<sub>2</sub><sup>-</sup> -9,92 моль/кг H<sub>2</sub>O и гидросульфидных Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> -7,71 моль/кг H<sub>2</sub>O комплексах, и уменьшение в хлоридных AuCl<sub>2</sub><sup>-</sup> -8,32 (значения приведены в виде -lg моль/кг H<sub>2</sub>O) [3]. Выявлены особенности растворения золота в гидротермальных растворах с участием в системе Co и Ni. Наблюдается преобладание золота в растворе в гидроксильных Au(OH)<sub>2</sub><sup>-</sup> -9,91 моль/кг H<sub>2</sub>O и гидросульфидных Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> -7,70 моль/кг H<sub>2</sub>O комплексах. Совместное участие в растворе Co и Ni увеличивает растворимость золота в растворе в гидросульфидных формах, что также приводит к отложению золота совместно с сульфидами [3].

В результате моделирования при совместном присутствии в гидротермальной системе металлов Au-Ag-Zn-Pb-Ni-Co наблюдается смещение равновесия в сторону общего увеличения растворимости золота в растворе с преобладанием гидроксильных Au(OH)<sub>2</sub><sup>-</sup> -9,84 моль/кг H<sub>2</sub>O и гидросульфидных Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> -7,63 моль/кг H<sub>2</sub>O, Au<sub>2</sub>(HS)<sub>2</sub>S<sup>2-</sup> -12,71 моль/кг H<sub>2</sub>O комплексах (табл. 1).

**Результаты термодинамического моделирования  
растворимости золота в гидротермальных растворах**

Комплексы	Концентрация металлов, моль/кг H <sub>2</sub> O				
	Au (1)	Au-Ag (1-1)	Au-Ag-Zn-Pb (1-1-10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-4</sup> )	Au-Ni-Co (1-10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup> )	Au-Ag-Zn-Pb-Ni-Co (1-1-10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup> )
Au <sup>+</sup>	-14,01	-14,08	-14,09	-14,08	-14,16
AuOH <sup>0</sup>	-8,35	-8,35	-8,35	-8,35	-8,35
Au(OH) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-9,98	-9,91	-9,89	-9,91	<b>-9,84</b>
AuHS <sup>0</sup>	-6,79	-6,79	-6,79	-6,79	-6,79
Au(HS) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-7,77	-7,70	-7,69	-7,70	<b>-7,63</b>
Au <sub>2</sub> (HS) <sub>2</sub> S <sup>2-</sup>	-13,00	-12,86	-12,84	-12,86	<b>-12,71</b>
AuCl <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-8,26	-8,33	-8,34	-8,32	-8,40
Au <sup>3+</sup>	-48,19	-48,40	-48,44	-48,40	-48,63
AuCl <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-27,96	-28,17	-28,21	-28,16	-28,39
ΣAu	<b>-6,74</b>	<b>-6,74</b>	<b>-6,74</b>	<b>-6,74</b>	<b>-6,73</b>
pH	4,635	4,704	4,717	4,705	4,779
Eh	-0,622	-0,631	-0,633	-0,631	-0,641
I	1,367	1,372	1,372	1,368	1,373

*Примечание. Для золоторудной, высокотемпературной стадии месторождения Сухой Лог, температура 380°C, давление 2500 бар*

Методом термодинамического моделирования выявлены основные факторы, влияющие на растворимость золота в гидротермальных растворах и его отложение, это возникшие физико-химические условия, окислительно-восстановительные условия, создающиеся многообразием химических реакций, протекающие в процессе рудообразования. Все перечисленные факторы в разной степени, но вполне отчетливо влияют на поведение золота в реальных геохимических обстановках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К., Коваленкер В.А., Мохов А.В., Семейкина Л.К., Юдовская М.А. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38. № 6. С. 467-484.
2. Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В., Юдовская М.А., Спиридонов А.М., Гребеницкова В.И., Матель Н.Л. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог // Докл. АН. 2000. Т. 371. № 1. С. 88-92.
3. Матель Н.Л. Влияние различных металлов на растворимость золота в гидротермальных растворах золоторудного месторождения Сухой Лог (Ленский район) // Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений. Воронеж: ИП Гончаровой, 2009. С. 74-76.