

А. С. БОРИСЕНКО, В. И. ВАСИЛЬЕВ, А. А. ОБОЛЕНСКИЙ,  
Н. А. ШУГУРОВА

## СОСТАВ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МИНЕРАЛАХ РУД РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ХИМИЗМ РУДОНОСНЫХ РАСТВОРОВ

(Представлено академиком В. А. Кузнецовым 26 XII 1972)

Широко распространенное мнение об отложении ртутных руд из слабokonцентрированных растворов опирается на результаты изучения процессов минералоотложения и химизма вод современных термальных источников (<sup>1,2</sup>), а также на единичные исследования состава газово-жидких включений в минералах ртутных руд (<sup>3-6</sup>). По аналогии это представление распространяется рядом исследователей на эпи- и телетермальные месторождения, расположенные вне областей активного вулканизма и термальной деятельности (<sup>2,7</sup>). Совершенно очевидно, что формирование указанных месторождений происходило в иных геологических условиях и физико-химической обстановке. Исследование индивидуальных включений в минералах ряда эпитеpмальных ртутных месторождений и рудопроявлений Алтае-Саянской складчатой области, Якутии, Чукотки и др. позволило уточнить существующие представления о вероятном исходном составе и концентрации рудообразующих растворов и их изменении при минералоотложении. Были изучены термометрически охарактеризованные (<sup>8</sup>) разные по форме и количеству фаз первичные газово-жидкие включения в последовательно кристаллизовавшихся до киновари и одновременных с ней жильных минералах.

Изучение солевого состава включений, концентрации углекислоты, состава газовой фазы проведено по разработанным методикам (<sup>9-15</sup>).

Полученные данные приведены в табл. 1. Из нее видно, что включения в минералах ртутных руд отличаются концентрацией законсервированных растворов, солевым составом и составом газовой фазы. По этим признакам они могут быть разделены на две группы: 1) включения с высококонцентрированными растворами и 2) включения с растворами пониженной концентрации.

Включения первой группы установлены на большинстве изученных месторождений в минералах, предшествовавших кристаллизации киновари или одновременных с ней. На высокую концентрацию растворов во включениях указывает прежде всего наличие твердых фаз, которые чаще представлены кристаллами-узниками галита или галита и сильвина. Концентрация растворов в таких включениях определена по температурам совместной растворимости солей при нагревании (<sup>16</sup>).

Высокие концентрации солей в растворе установлены по результатам криометрирования и во включениях, не содержащих твердых фаз: в кварце месторождения Горхон, кварце и анкерите месторождения Чаган-Узун, кварце Курайского месторождения, анкерите рудопроявления Курумду-Айры. Во включениях в кварце Горхонского месторождения присутствуют хлоридные растворы Na и Mg с равной концентрацией солей.

Во включениях в кварце и анкерите месторождения Чаган-Узун и кварце Курайского месторождения раствор имеет необычный состав. Судя по результатам кристаллизационного разделения (вымораживанием) со-

## Состав газовой-жидких включений

Таблица 1

№ п. п.	Месторождение, район	Минералы *	t <sub>гом</sub> , °C	Состав раствора, вес. %					Состав газовой фазы, об. %				Примечание
				NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	NaCl эквивал.	Σ	H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , HCl, HF, NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> + редк. газы	
1	Чазадыр (Тува)	Кварц	120—180	24,2	—	—	—	36,9 **	14,0	52,5	0,0	33,5	
		Барит	130—140	—	—	3	—	—	—	—	—	—	
		Киноварь	90—155	23,0	—	—	—	35,7 **	—	—	—	—	
		Кальцит	< 70	—	—	—	2,5	2,5	—	—	—	—	
2	Джылкыдал (Горный Алтай)	Кварц	110—150	29,0	1,4	—	—	30,4	—	—	—	—	
		»	—	—	—	3	—	—	0,0	86,0	3,0	11,0	
3	Курумду-Айры (Горный Алтай)	Кварц	120—170	27,5	—	—	—	27,5	0,0	52,4	4,5	43,1	
		Анкерит	130—160	—	—	—	12—15	12—15	—	—	—	—	
		Киноварь	< 120	—	—	—	—	—	7,2	50,0	0,0	42,8	Докиноварный
4	Горхон (Восточный Саян)	Кварц	155—185	8,9	—	1,5	—	19,3 ***	—	—	—	—	
		Киноварь	130—155	—	—	—	—	—	11,0	81,0	0,0	8,0	
5	Курай (Горный Алтай)	Кварц	145—170	6,0	4,0	—	—	10,0	—	—	—	—	
		»	—	—	—	1—1,5	—	—	—	—	—	—	Докиноварный
6	Чаган-Узун (Горный Алтай)	»	150—190	3,3	4,9	—	—	8,2	—	—	—	—	
		»	—	—	—	10,0	—	—	5,5	85,7	0,0	8,8	
		Анкерит	140—200	3,3	4,9	—	—	8,2	—	—	—	—	
		»	—	—	—	8—10,0	—	—	—	—	—	—	Сингенетический с киноварью первой генерации
7	Ак-Таш (Горный Алтай)	Киноварь	120—140—180	—	—	8—10,0	—	—	—	—	—	—	
		Кварц	120—190	—	—	—	10,0	10,0	—	—	—	—	
		Кальцит	130—215	—	—	1,5	0,5—2,0	2,0—3,5	0,0	34,5	9,4	56,1	
		»	—	—	—	—	—	—	0,0	42,6	3,4	54,0	Докиноварный
		»	—	—	—	—	—	—	0,0	48,5	7,8	43,7	
8	Ак-Тюль (Горный Алтай)	Кварц	130—150	—	—	1—1,5	3,5—6	4,5—7,5	—	—	—	—	
		Кальцит	125—135	—	—	—	4,0—9,0	4,0—9,0	—	—	—	—	
9	Черемшанка (Горный Алтай)	Кварц	135—165	—	—	1,0	6,0—7,0	7,0—8,0	—	—	—	—	Докиноварный
10	Гал-Хая (Якутия)	Флюорит	160—190	—	—	1,5—2	4,5—6,0	6,0—8,0	—	—	—	—	
		Кварц	190—240	—	—	1,0—2	1,5—3,0	2,5—5,0	6,0	83,0	0,0	11,0	
		Кальцит	110—130	—	—	—	0,5—1,5	0,5—1,5	0,0	57,5	8,5	34,0	
11	Сухонькое (Горный Алтай)	Кварц	115—180	—	—	1—1,5	0,5—2,5	1,5—4,0	0,0	95,5	1,1	3,4	Докиноварный
12	Карасу (Средняя Азия)	»	180—225	—	3,5	—	—	3,5	—	—	—	—	
		»	—	—	—	3,0—4	—	—	—	—	—	—	
		Киноварь	90—165	—	—	—	—	—	5,8	93,0	0,0	1,2	
13	Палянское (Чукотка)	Кварц	130—220	—	—	—	1,5—4,0	1,5—4,0	0,0	63,8	7,7	28,5	Докиноварный
14	Там же	»	75—140	—	—	—	0,5—1,0	—	—	—	—	—	
15	Ваньшань (Китай)	Киноварь	—	—	—	—	—	—	8,0	91,0	0,0	1,0	

\* Расположены в последовательности образования.

\*\* В составе раствора еще 12,7% KCl.

\*\*\* В составе раствора еще 8,9 MgCl<sub>2</sub>.

держимого включений в минералах Чаган-Узунского месторождения, в процессе которого помимо других фаз обособлялись анизотропные ромбоидальные кристаллы соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , а также по температурам плавления фаз включения заполнены раствором  $\text{NaCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ . Близкий состав раствора установлен во включениях в кварце Курайского месторождения. Существенно карбонатные растворы законсервированы и во включениях в кварце месторождения Карасу (Туркестанский хребет).

Состав газовой фазы включений, заполненных высококонцентрированными растворами, изменчив. Показательно высокое содержание  $\text{CO}_2$ , меняющееся от 52,4 (кварц, Курумду-Айры) до 85,7 об. % (кварц, Чаган-Узун), и ощутимое количество (до 14 об. %) кислых газов ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ) и  $\text{NH}_3$ , среди которых, по-видимому, преобладает  $\text{H}_2\text{S}$ , поскольку существование  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  маловероятно в присутствии растворов, содержащих уголекислоту и соду. Для газовой фазы этих включений характерно также либо полное отсутствие кислорода, либо очень низкое его содержание, а также переменные количества азота и редких газов.

В ряде месторождений в предшествующих киновари и сопровождающих ее кристаллизацию минералах во включениях установлены менее насыщенные солями растворы, концентрация которых условно выражена через концентрацию  $\text{NaCl}$  и определена по температуре таяния льда после замораживания включений. Такие растворы присущи включениям в докиноварном кварце месторождений Ак-Таш, Черемшанка и Ак-Тюль во флюорите и кварце месторождения Гал-Хая.

Еще более низкие концентрации растворов установлены во включениях в кварце месторождений Сухонькое, Палянское, Пламенное, а также в образовавшемся одновременно с киноварью кальците месторождений Ак-Таш и Гал-Хая. Низкие концентрации солей зафиксированы и во включениях в послекиноварном кальците месторождения Чазадыр (2,5 %), в отличие от включений в докиноварных минералах, содержащих пересыщенные при комнатной температуре растворы хлоридов.

Характеризуя состав газовой фазы включений с пониженными концентрациями солей в растворе, необходимо отметить постоянное присутствие в ней кислорода, уголекислоты и полное отсутствие группы кислых газов.

Постоянным компонентом включений обеих групп является жидкая уголекислота. Она не обнаружена только во включениях минералов из месторождения Чазадыр (кварц, киноварь) и рудопроявления Курумду-Айры (кварц, анкерит).

Исследование состава газовой-жидких включений показало, что во включениях законсервированы как высококонцентрированные растворы сложного солевого состава, так и растворы с более простым солевым составом. Среди солей преобладают  $\text{NaCl}$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , в подчиненных количествах присутствуют хлориды калия и магния. Во включениях также отмечаются значительные содержания уголекислоты и, судя по составу газовой фазы, по-видимому, сульфидной серы. Солевой состав растворов включений, и в особенности присутствие карбонатов натрия, свидетельствует о щелочном характере рудообразующих растворов.

Сравнение составов включений последовательно кристаллизующихся минералов указывает на снижение концентрации растворов к концу процесса минералообразования без существенного качественного изменения состава солей. Это отчетливо устанавливается для месторождений Чазадыр, Ак-Таш, Курумду-Айры, Гал-Хая и др. Заметно изменяется состав газовой фазы включений. Если находящимся во включениях концентрированным растворам соответствует сернисто-уголекислотный состав газовой фазы, то для растворов с низкой концентрацией солей — уголекислотно-кислородный, что говорит о разбавлении минералообразующих растворов богатыми кислородом вадозными водами и окислении их кислородом атмосферы в близповерхностных условиях. Появление уголекислоты во включениях и обособление ее в виде самостоятельной фазы, по-видимому,



является следствием подкисления исходных щелочных растворов в процессе минералообразования прежде всего за счет перехода сульфидной серы в сульфатную (<sup>17</sup>).

Приведенные данные по составу газово-жидких включений в минералах ртутных руд позволяют утверждать, что в формировании большинства изученных эпitherмальных ртутных месторождений принимали участие первичные высококонцентрированные щелочные растворы, подвергавшиеся разбавлению и окислению уже в процессе минералоотложения.

Институт геологии и геофизики  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Новосибирск

Поступило  
20 XII 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Д. Уайт, В кн. Проблемы рудных месторождений, ИЛ, 1959. <sup>2</sup> Д. Э. Уайт, В кн. Геохимия гидротермальных рудных месторождений, М., 1970. <sup>3</sup> И. Н. Маслова, Зап. Всесоюз. мин. общ., 92, 6 (1963). <sup>4</sup> В. П. Федорчук, Е. Е. Костылева-Лабунцова, И. Н. Маслова, Геол. рудн. месторожд., 5, № 2 (1963). <sup>5</sup> Э. Реддер, В кн. Геохимия гидротермальных рудных месторождений, М., 1970. <sup>6</sup> Б. О. Манучарянц, В. Б. Наумов, И. Л. Ходаковский, Геохимия, № 11 (1970). <sup>7</sup> В. П. Федорчук, В сборн. Проблемы генезиса руд, Международн. геол. конгр., XXII сессия, докл. советск. геологов, 1964. <sup>8</sup> В. И. Васильев, А. А. Оболенский, А. С. Борисенко, ДАН, 209, № 2 (1973). <sup>9</sup> Г. Г. Лемлейн, П. В. Клевцов, Зап. Всесоюз. мин. общ., сер. 2, 84, в. 1 (1955). <sup>10</sup> Г. Г. Лемлейн, П. В. Клевцов, Там же, 95, 4 (1956). <sup>11</sup> И. Л. Добрецова, В сборн. Минералогическая термометрия и барометрия, 2, «Наука», 1968. <sup>12</sup> Л. Ш. Базаров, В кн. Материалы по генетической и экспериментальной минералогии и петрографии, 4, «Наука», 1966. <sup>13</sup> Л. Ш. Базаров, И. В. Моторина, В сборн. Проблемы петрологии и генетической минералогии, «Наука», 1970. <sup>14</sup> Ю. А. Долгов, Л. Ш. Базаров, И. Т. Бакуменко, В сборн. Минералогическая термометрия и барометрия, 2, «Наука», 1968. <sup>15</sup> Н. А. Шугурова, В сборн. Минералогическая термометрия и барометрия, 2, «Наука», 1968. <sup>16</sup> Справочник по растворимости солевых систем, 1, 1953. <sup>17</sup> А. Л. Павлов, А. А. Оболенский, В сборн. Физическое и физико-химическое развитие магматогенных и рудных систем, «Наука», 1972.