

УДК 553.499+553.21/24

ГЕОХИМИЯ

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

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 слабоконцентрированных растворов опирается на результаты изучения процессов минералоотложения и химизма вод современных термальных источников^(1, 2), а также на единичные исследования состава газово-жидких включений в минералах ртутных руд⁽³⁻⁶⁾. По аналогии это представление распространяется рядом исследователей на эпи- и телетермальные месторождения, расположенные вне областей активного вулканизма и термальной деятельности^(2, 7). Совершенно очевидно, что формирование указанных месторождений происходило в иных геологических условиях и физико-химической обстановке. Исследование индивидуальных включений в минералах ряда эптермальных 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⁽⁸⁾ 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⁽⁹⁻¹⁵⁾.

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⁽¹⁶⁾.

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 газово-жидких включений

Таблица 1

| № п. п. | Месторождение, район | Минералы * | t _{гом.} , °C | Состав раствора, вес. % | | | | | Состав газовой фазы, об. % | | | | Примечание |
|------------|-----------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|----------|---|-----------------|----------------|------------------------------------|---|
| | | | | NaCl | Na ₂ CO ₃ | CO ₂ | NaCl активал. | Σ | H ₂ S, SO ₂ , HCl, HF, NH ₃ | CO ₂ | O ₂ | N ₂ + +редк. газы | |
| 1 | Чаадыр (Тыва) | 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 | — | 0,0 | 86,0 | 3,0 | 11,0 |
| | | » | — | — | — | 3 | — | — | — | — | — | — | |
| 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 | |
| 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 | — | — | — | — | — | — | Докиноварный |
| 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 | |
| 8 | Ак-Тюль (Горный Алтай) | » | — | — | — | — | — | — | 0,0 | 42,6 | 3,4 | 54,0 | |
| | | » | — | — | — | — | — | — | 0,0 | 48,5 | 7,8 | 43,7 | Сингенетический с киноварью первой генера-ции |
| 9 | Черемшанка (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 | — | — | — | — | |
| 10 | Гал-Хая (Якутия) | Кварц | 135—165 | — | — | 1,0 | 6,0—7,0 | 7,0—8,0 | — | — | — | — | |
| | | 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 | Докиноварный |
| 11 | Сухонькое (Горный Алтай) | Кальцит | 110—130 | — | — | — | 0,5—1,5 | 0,5—1,5 | 0,0 | 57,5 | 8,5 | 34,0 | |
| | | 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 | — | — | — | — | — | — | |
| 13 | Палианское (Чукотка) | Киноварь | 90—165 | — | — | — | — | — | 5,8 | 93,0 | 0,0 | 1,2 | |
| | | Кварц | 130—220 | — | — | — | 1,5—4,0 | 1,5—4,0 | 0,0 | 63,8 | 7,7 | 28,5 | |
| | | » | 75—140 | — | — | — | 0,5—1,0 | — | — | — | — | — | Докиноварный |
| 14 | Там же | Киноварь | — | — | — | — | — | — | 8,0 | 91,0 | 0,0 | 1,0 | |
| | | Ваньшань (Китай) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |

* Расположены в последовательности образования,

** В составе раствора еще 12,7% KCl.

*** В составе раствора еще 8,9% MgCl₂.

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 CO_2 , меняющееся от 52,4 (кварц, Курумду-Айры) до 85,7 об. % (кварц, Чаган-Узун), и опущимое количество (до 14 об. %) кислых газов (H_2S , SO_2 , HCl , HF) и NH_3 , среди которых, по-видимому, преобладает H_2S , поскольку существование HCl , HF , SO_2 , NH_3 маловероятно в присутствии растворов, содержащих углекислоту 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 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, углекислоты и полное отсутствие группы кислых газов.

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

Исследование состава газово-жидких включений показало, что во включениях законсервированы как высококонцентрированные растворы сложного солевого состава, так и растворы с более простым солевым составом. Среди солей преобладают NaCl и Na_2SO_4 , в подчиненных количествах присутствуют хлориды калия и магния. Во включениях также отмечаются значительные содержания углекислоты 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-углекислотный состав газовой фазы, то для растворов с низкой концентрацией солей — углекислотно-кислородный, что говорит о разбавлении минералообразующих растворов богатыми кислородом водозными водами и окислении их кислородом атмосферы в близповерхностных условиях. Появление углекислоты 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 (17).

Приведенные данные по составу газово-жидких включений в минералах ртутных руд позволяют утверждать, что в формировании большинства изученных эпимеральных 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

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