

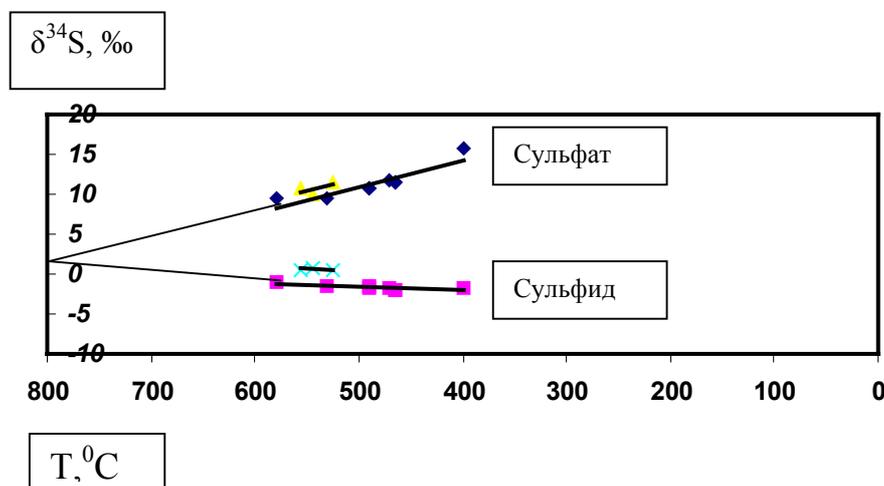
## СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ОБРАЗОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ СУЛЬФИД-СУЛЬФАТ-КВАРЦЕВЫХ АССОЦИАЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Гриненко В.А., Устинов В.И. (ГЕОХИ РАН)

Для установления генезиса рудных месторождений важное значение имеют сведения о температурных условиях отложения минералов. Эти данные можно получить по изотопному составу серы и кислорода сосуществующих сульфидов и сульфатов и кварцев парагенных сульфатам, а также по газовой-жидким включениям.

Одной из основных задач было сравнение температурных режимов минералообразования, установленных по результатам изучения (ФВ) в кварце и ангидрите, с данными изотопных геотермометров сульфид-ангидрит и кварц-ангидрит на Дарасунском золото-полиметаллическое месторождении.

Сульфиды месторождения Дарасун характеризуются довольно однородным изотопным составом: значения  $\delta^{34}\text{S}$  изменяются от +0,9 до -2,1‰, в то время как для ангидритов наблюдаются значительные вариации  $\delta^{34}\text{S}$  – от 9,6 до 15,8‰. Разница в значения  $\delta^{34}\text{S}$  сосуществующих сульфатов и сульфидов ( $\Delta^{34}\text{S}$ ) варьирует от 11,0 до 17,5‰ [1]. Согласно изотопному сульфид-сульфатному геотермометру [2, 3], такой интервал величин  $\Delta^{34}\text{S}$  соответствует диапазону температуры от 580 до 400°C (рис.) Линии регрессии значений  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов и сульфатов в координатах  $\delta^{34}\text{S}$  -  $\Delta\delta^{34}\text{S}_{\text{сульфат-сульфид}}$  пересекаются в точке с  $\delta^{34}\text{S} \approx +2\%$ . Это значение характеризует средний изотопный состав серы флюида, указывающий, что источником серы являются изверженные породы. Слабое изменение величин  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов по сравнению с сульфатами свидетельствует о преимущественном присутствии во флюиде сульфидной формы: отношение  $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4^{2-}$  нами оценивается как 70:30.



По изотопному составу кислорода ангидритов и кварцев и температурам изотопного геотермометра сульфат-сульфид рассчитаны величины  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\text{H}_2\text{O}$ ) водной фазы флюида. Обращает на себя внимание то, что для высокотемпературных (580°C) минералов наблюдаются самые высокие величины  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\text{H}_2\text{O}$ )  $\cong +8\%$ , соответствующее изотопному равновесию водной фазы с магматическими породами при низком отношении вода/порода. Более низкотемпературные ангидрит и кварц образовались из флюидов с более низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ . Единственным объяснением этого факта - участие «легких» метеорных вод в эволюции флюида, причем доля метеорных вод росла с понижением температуры.

По изотопному составу кислорода ангидритов и кварцев и температурам изотопного геотермометра сульфат-сульфид рассчитаны величины  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$  водной фазы флюида. Обращает

на себя внимание то, что для высокотемпературных ( $580^{\circ}\text{C}$ ) минералов наблюдаются самые высокие величины  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O}) \cong +8\text{‰}$ , соответствующее изотопному равновесию водной фазы с магматическими породами при низком отношении вода/порода. Более низкотемпературные ангидрит и кварц образовались из флюидов с более низкими значениями  $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ . Единственным объяснением этого факта - участие «легких» метеорных вод в эволюции флюида, причем доля метеорных вод росла с понижением температуры.

Температуры гомогенизации ( $T_{\text{гом.}}$ ) в кварце составили  $440\text{--}225^{\circ}\text{C}$ . Величины  $T_{\text{гом.}}$  ФВ в ангидритах и кварцах согласуются в пределах  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ . В некоторых образцах кварца гомогенизация ФВ происходит как в жидкую, так и в газовую фазы, что позволяет полученные  $T_{\text{гом.}}$  считать истинными температурами минералообразования; такие ФВ возникают в зоне гетерогенизации флюидов. По данным Прокофьева [4] для Дарасуна температурная поправка на давление для наиболее высоких значений температур для гетерогенных флюидов с высокими концентрациями газов и насыщенными солями растворов является минимальной. Поэтому эти температуры можно считать истинными температурами кристаллизации минералов.

Возникает вопрос о причинах более высоких температур ( $580 - 400^{\circ}\text{C}$ ), полученных по изотопно-серному термометру?

Для полукоткрытых гидротермальных систем характерны максимальные вариации температур, давлений, концентраций солей и газов; происходит смешение флюидов разного генезиса, важную роль играет дегазация флюидов и падение температуры. В таких условиях распределение изотопов серы между разными серосодержащими компонентами рудоносных высокотемпературных растворов, попадающих в зону отложения минералов, отражает высокие температуры флюида. Скорость изотопного обмена между сульфидной и сульфатной формами серы значительно меньше, чем скорость изотопного обмена изотопами кислорода в системе сульфат-вода. Поэтому, если кристаллизация сульфидов и ангидрита происходит достаточно быстро, то изотопно-серная система может не достигать равновесия при падении температуры и отражать промежуточную температуру между температурой высокотемпературных флюидов, поступающих в зону рудоотложения, и более низкой температурой образования смешанного флюида, из которого осаждаются минералы. Такая схема минералообразования объясняет наблюдаемое разногласие в изотопных и баротермометрических температурных данных.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 02-05-64767.*

## Литература

1. *Гриненко В.А., Карпухина В.С., Столяров Ю.М., Устинов В.И.* Условия формирования золото-полиметаллического месторождения по данным изотопного состава серы и кислорода и термобарометрии // Материалы XI международной конференции по термобарогеохимии. 2003. с. 202-204
2. *Miyoshi T, Sakai H. and Chiba H.* Experimental study of sulfur isotope fractionation factors between sulfate and sulfide in high temperature melts // *Geochem. J.* 1984. 16. PP. 63-73.
3. *Ohmoto H. and Lasaga A.C.* Kinetics of reactions between aqueous sulfates and sulfides in hydrothermal systems // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1982. 46. PP. 1727-1745.
4. *Прокофьев В.Ю.* Типы гидротермальных рудообразующих систем (по данным исследования флюидных включений) // *Геология рудных месторождений.* 1998. Т. 40. №6, с. 514-528.

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(22) 2004*

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

*URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dggms/1-2004/informbul-1/izotop-1.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/1-2004/informbul-1/izotop-1.pdf)*

*Опубликовано 1 июля 2004 г.*

*© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2004*

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