

ФУГОМЕТРИЯ РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УРАЛА

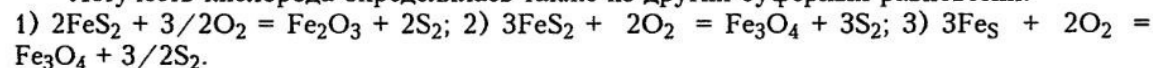
Целью выполненных исследований является термометрия и фугометрия (определение давления паров летучих компонентов) в процессе формирования рудно-магматических систем. Изучение сульфидных парагенезисов и составляющих их минералов позволило привлечь для решения этих задач такие геотермометры (фугометры), как электрум-сфалеритовый, арсенопиритовый, пирит-пирротиновый, а также использовать составы редко встречающихся минералов дигенита и самородного золота.

Электрум-сфалеритовая геотермометрия применялась нами впервые для золотосодержащих руд Дегтярского и Узельгинского месторождений. В целом, данные термометрии и фугометрии (табл.1) показывают соответствие положения фигуративных точек на диаграммах активность серы - температура полям устойчивости минеральных ассоциаций и практически совпадают с таковыми для безборнитовых руд месторождений им. III Интернационала и Гайского [1]. Наряду с этим, для руд Дегтярского месторождения наблюдается некоторое "смещение" фигуративных точек для образцов руд из горизонта 550 м в сторону более низких температур относительно данных арсенопиритового геотермометра [2]. Возможно, это связано с реликтовой природой золотосодержащих руд данного месторождения, которые, согласно [3], образовались за счет борнитсодержащих руд. Окончательное решение этого вопроса возможно с учетом поправок, вносимых в линейную экстраполяцию данных метода почернения электрума [4], которая положена в основу предложенных в работе [5] уравнений определения температуры и летучести серы.

Арсенопиритовая геотермометрия впервые была выполнена для руд Дегтярского месторождения и дополнена для руд Узельгинского и других месторождений. Наряду с этим для Дегтярского месторождения выполнены независимые определения температур и летучести серы методом пересечения изоплет составов электрума и арсенопирита, что особенно удобно в тех случаях, когда мы не располагаем составами сфалеритов.

Пирит-пирротиновый геотермометр использован нами для руд месторождений им. 50-летия Октября и Маукского. С точки зрения расшифровки режима кислорода и серы, представляет интерес буферная пирит-пирротин-магнетитовая ассоциация, которая детально исследована в интервале температур 250-550°C [6].

Летучесть кислорода определялась также из других буферных равновесий:



Первая из реакций использована для определения температур и летучестей серы и кислорода в период формирования золотосодержащих гематит-сульфидных руд Гайского месторождения; вторая - для магнетит- и арсенопиритсодержащих серных руд Карабашского месторождения и третья - для магнетитсодержащих медно-цинковых руд месторождения им. III Интернационала. Последний случай интересен тем, что магнетит в первую очередь развивается по сфалериту, т.е. за счет замещения пирротинового минала. Для этого случая в расчете констант равновесия реакции 3 было учтено, что коэффициент активности FeS в твердом растворе отличается от единицы. Для определения

Т а б л и ц а 1

Данные электрум-сфалеритовой (э.-с.) и арсенопиритовой (арс.) термометрии

	Номер образца	Уз232/78*	Д145/79	К16/82	И-1115	И-1124	И-1124	БЛ-0185	В-65
арс.	T, °C	<250	420	410	410	<250	380	415	<250
	logfs ₂	<12,0	6,15	6,3	6,3	<12,0	7,2	6,15	<12,0
э.-с.	T, °C	164	372	543	376	296	296	354	287
	logfs ₂	15,5	6,5	1,79	6,19	9,66	9,66	6,5	9,38

П р и м е ч а н и е: Уз - Узельгинское, Д - Дегтярское, К - Карабашское, И - м-ние им. III Интернационала, В - Вознесенское, БЛ - Барсучий лог.

летучести кислорода использовались значения температур и летучести серы, полученные с помощью электрум-сфалеритового и арсенопиритового геотермометров. Полученные данные сведены в табл. 2, где также приведены результаты использования пирит-пирротин-магнетитового равновесия.

Для дигенитсодержащих минеральных ассоциаций руд различного генезиса возможно использование состава дигенита для определения температур и летучести серы. В этом методе используется нестехиометрия дигенита, выражаемая в виде отношения S_2 к Cu_2S в твердом растворе и ее графическое отображение, основанное на экспериментальных исследованиях системы Cu-S [7]. Данный метод позволяет определить только минимальные значения температур и активности серы в точках их пересечения с границей поля устойчивости гексагонального халькозина. Уточненные значения этих величин можно получить при учете других реакций сульфидизации. Составы изученных дигенитов, минимальные значения температур и летучести серы, а также их сопоставление с другими методами приведены в табл. 3, 4. Особый интерес представляют составы борнитов и дигенитов из руд Березниковского золотопорфирового месторождения, поскольку они однозначно свидетельствуют, что температура их кристаллизации соответствовала гомогенности твердого раствора дигенит-борнит: $T > 350^\circ C$ [8]. Сохранности борнита данного состава, по-видимому, способствовало то обстоятельство, что исследованные образцы медно-сульфидной минерализации отобраны из малоомной пострудной дайки диабазов, и процесс их остывания протекал достаточно быстро. Аналогичные результаты получены и для руд Вознесенского медно-порфирового месторождения. Состав диге-

Т а б л и ц а 2

Фугометрия колчеданных месторождений

Минер. ассоц.	Пирротин-пирит-магнетит			Сфалерит-магнетит	Пирит-магнетит	Пирит-гематит	
М-ние	50 лет Октября		Маук	Ш Интерн.	Карабаш	Гай	
T, °C	T57	T57	368/105.5	1115	K15/82	2316	2316
	270	250	280	375	420	305	325
-logfs ₂	12,2	12,0	12,0	6,2	6,2	9,3	8,8
-logfo ₂	36,5	38,0	34,5	35,1	23,2	3,7	3,9

Т а б л и ц а 3

Нестехиометрия дигенитов колчеданных месторождений

Месторождение	Гай	Им.Ш Интернационала				Карабаш		
	501/74	1306	1038	280	696	13-1	13-8	13
S_2/Cu_2S	0,0208	0,0036	0,0145	0,0062	0,0037	0,0133	0,0223	0,0103
T min, °C	240	420	300	380	410	315	270	350
-logfs ₂ min	13,6	12,5	12,3	13,0	12,5	12,2	13,2	13,1
Э.-с. T, °C	280						265	
-logfs ₂	7,2						8,0	

П р и м е ч а н и е. Полные анализы опубликованы в работе [9].

Т а б л и ц а 4

Химические анализы борнитов и дигенитов

Месторождение	Волковское скв.1191-491,2			Березниковское По 452-100		Вознесенское В-451	
Cu	80,24	79,80	79,72	79,18	68,90	75,78	67,83
Fe	0,18	0,10	0,10	0,02	8,13	0,79	8,18
S	20,41	21,08	21,14	21,03	23,80	21,08	23,80
Ag	-	-	-	0,06	0,06	0,04	0,06
Сумма	100,83	100,98	100,96	99,29	100,89	97,69	99,87
S_2/Cu_2S	-0	0,0077	0,0082	0,0109		0,0149	
%диген. компон.					26		26
T min, °C	370	370	370	360	300	300	300
-logfs ₂ min	12,0	12,0	12,0	12,0		12,3	

нита одного из исследованных образцов Cu-Fe-V-руд Волковского месторождения соответствует халькозину. Это говорит о том, что температурный интервал кристаллизации сульфидов меди простирался до достаточно низких температур, соответствующих 370°C.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о конвергенции, сближении условий кристаллизации золотосодержащих руд месторождений различных генетических типов (колчеданных, медно-порфировых, золоторудных). Выполненные исследования дают базу для определения фугитивности кислорода на различных этапах рудообразования. Впервые показана перспективность использования состава дигенита в парагенетических исследованиях руд различного генезиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молошаг В.П., Гуляева Т.Я. Новые данные по минералогии золотосодержащих руд колчеданных месторождений Урала // Материалы к минералогии Урала. Свердловск, 1990. С.80-87.
2. Молошаг В.П., Гуляева Т.Я. Новые данные об арсенопиритах колчеданных месторождений Урала // Продукты разрушения гидротермальных построек в колчеданосных районах. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С.117-125.
3. Потапов В.В. и др. Дегтярское месторождение // Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С.144-159.
4. Barton P.B., Toulmin P. The electrom-tarnish method for the determination of the fugacity of sulfur in laboratory sulfide systems // Geochim. Cosmochim. Acta. 1964. Vol.28, N 5. P.619-640.
5. Shikazono N. A comparison of temperatures estimated from the electrom-sphalerite-pyrite-argentite assemblage and filling temperatures of fluid inclusion from epithermal Au-Ag vein-type deposits in Japan // Econ. Geol. 1985. Vol.80, N5. P.1415-1424.
6. Kishima N. A thermodynamic study of the pyrite-pyrrhotine-magnetite- water system at 300-500°C with relevance to the fugacity /concentration quotient of aqueous H₂S // Geochim. Cosmochim. Acta. 1989. Vol.53, N9. P.2143-2155.
7. Barton P.B. Solid solutions in the system Cu-Fe-S. I.The Cu-S and Cu-Fe-S joins // Econ.Geol. 1973. Vol.68,N4. P.455-465.
8. Воган Д., Крейг Дж. Химия сульфидных минералов. М.: Мир, 1981. 576 с.
9. Молошаг В.П., Колотов С.В., Гуляева Т.Я. Новые данные о сульфидах меди и серебра в колчеданных месторождениях Урала // Уральский минералогический сборник. Екатеринбург: УрО РАН, 1995.N5.С.223-231.