

Это свидетельствует о пространственной и временной связи накопления в рудах золота и серебра с формированием различных продуктивных минеральных ассоциаций.

При этом коэффициенты концентрации золота ( $K_{Au}$ ) и серебра ( $K_{Ag}$ ) в МЦК по сравнению с раннепиритовыми рудами (СК) достигают, соответственно 3,13 и 3,91 (табл. 2).

Таблица 2

**КОЭФФИЦИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИИ (К) AU И AG В ПРОДУКТИВНЫХ СОРТАХ РУД ПО СРАВНЕНИЮ С СЕРНЫМ КОЛЧЕДАНОМ**

Сорт	СК	МК	ЦК	МЦК	МВ	ЦВ	МЦВ	М-е
$K_{Au}$	1	1,2	2,86	3,13	1,06	1,58	2,38	2,12
$K_{Ag}$	1	1,22	3,35	3,91	1,07	2,57	4,74	2,45

Анализ данных по содержаниям Au и Ag в рудах месторождения, частично представленный в табл. 1 и 2 (см. также Ag/Au), позволяет сделать вывод о том, что от начала рудного процесса (отложение сингенетических раннепиритовых руд) к завершающим его стадиям (формирование поздних эпигенетических продуктивных минеральных ассоциаций) наблюдается опережающее более интенсивное накопление в рудах серебра по сравнению с золотом.

Заслуживают внимания следующие детали. Для 75 % рядовых проб с максимальными в различных сортах руд (см. табл. 1) и ураганными содержаниями золота (всего 14 проб) характерны очень низкие значения  $Ag/Au=0,5-8,1$ , среднее 3,3. И напротив, около 73 % рядовых проб

с максимальными в различных сортах руд (см. табл. 1) и ураганными содержаниями серебра (всего 8 проб) характеризуются резко повышенными значениями  $Ag/Au=32,4-224,6$ . Среднее 83,6. Следовательно, в определенных участках колчеданных руд различного состава на протяжении всего периода колчеданного рудообразования периодически могла проявляться существенно золотая или существенно серебряная сопутствующая минерализация.

Изложенные материалы позволяют сделать следующий вывод. При всей геохимической близости благородных металлов (Au и Ag) в процессе колчеданного рудообразования максимальное накопление в рудах золота по времени происходит несколько раньше, чем максимальное накопление серебра.

**Г. Н. Пшеничный, Н. Г. Рыкус**

**НОМЕНКЛАТУРА И СИСТЕМАТИКА БЛЕКЛЫХ РУД КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА**

В колчеданных рудах блеклые руды являются второстепенными или редкими минералами. Средние содержания их в различных минеральных типах руд отдельных месторождений варьируют в пределах сотых – десятых долей %, достигая 1 %, в отдельных случаях несколько более. В локальных участках рудных тел некоторых месторождений (Новые Учалы, Узельга, им. XIX Партсъезда, Октябрьское, Гай, Барсучий Лог) средние содержания блеклых руд могут достигать нескольких %. В общей истории колчеданного рудообразования региона и отдельно взятых месторождений блеклые руды являются сквозными минералами. Они входят в состав большинства минеральных ассоциаций, сформировавшихся от начальных стадий субмаринного рудообразования до отложения наиболее поздних эпигенетических минеральных парагенезисов. Это делает блеклые руды весьма привлекательным объектом исследования с позиций генетико-информационной минералогии.

По данным микронзондовых исследований (всего 368 определений, в том числе 62 по литературным данным) блеклые руды отличаются большим диапазоном вариаций химического состава основных элементов (Cu, As, Sb, S) и обладают очень большой изоморфной емкостью. В составе блеклых руд установлено 13 элементов-приме-

сей, из которых формулоопределяющими элементами являются Fe и Zn, а в редких случаях и Ag. В блеклых рудах содержания Fe колеблются от 0,19 до 6,13 %, Zn — от 0,54 до 8,83 %. Содержания As варьируют в пределах 0,70–20,94 % и Sb — в пределах 0,17–28,85 %. Обе пары элементов в блеклых рудах образуют непрерывные изоморфные ряды, предопределяя выделение минеральных видов и подвидов в семействе блеклых руд.

Содержания Ag в большинстве южноуральских блеклых руд составляют сотые–десятые доли %, в редких случаях они превышают 1 %, достигая значения 6,14 %. В единичных случаях на Учалинском и Ново-Учалинском месторождениях встречены высокосеребристые блеклые руды с содержаниями серебра от 9,29 до 55,19 %. Для блеклых руд отдельных месторождений установлены зависимости между составами и минеральными парагенезисами. Все это требует дальнейшего совершенствования номенклатурных подразделений и систематики семейства блеклых руд. Подобная попытка предпринята нами по отношению к блеклым рудам, встречающимся на колчеданных месторождениях Южного Урала.

Из наиболее поздних номенклатурных подразделений блеклых руд [1, 2] наиболее удачной и аргументированной к настоящему времени является систематика и номенк-

латура блеклых руд, предложенная Н. Н. Мозговой [1]. Однако по мере накопления фактических материалов по блеклым рудам становится очевидной необходимость в дальнейших дополнениях и уточнениях этой систематики и номенклатуры, — по крайней мере, применительно к блеклым рудам из определенных типов рудных месторождений. Принимая в целом систематику и номенклатуру блеклых руд Н. Н. Мозговой, мы считаем целесообразным уточнить понятие «фрейбергит» и более точно определить его положение в изоморфном ряду сурьмяно-серебряных блеклых руд. Кроме того, мы считаем целесообразным для рода мышьяково-сурьмяных блеклых руд предложить следующие изменения и дополнения.

В номенклатуре более дробных делений минерального рода мы предлагаем употреблять термины *минеральный вид, подвид и разновидность*, отказавшись от употребляемых Н. Н. Мозговой *внутривидовые и межвидовые разновидности*. В частности, мы считаем целесообразным отнести все три члена As–Sb изоморфного ряда: теннантит, смешанные блеклые руды (теннантит–тетраэдрит), тетраэдрит — к «минеральному виду». Для изоморфного ряда двухвалентных металлов (Fe и Zn) — **ввести трехчленное деление** подобно тому, как это предложено Н. Н. Мозговой для изоморфного ряда теннантит–тетраэдрит с сохранением аналогичных количественных критериев разграничения между членами ряда: по 25% содержания компонентов, то есть по 1/4 ряда для крайних членов, что составляет 0,5 атомных количеств. Каждому члену такого ряда присвоить номенклатуру «минеральный подвид»: **Fe, Fe–Zn и Zn блеклые руды**. Название «разновидность» сохранить в тех случаях, когда желательно подчеркнуть в составе блеклых руд присутствие какого-либо металла. При этом название «разновидность» присваивать лишь в тех случаях, когда содержание элемента-примеси превышает 1 вес. %, но менее 0,5 атомных количеств в формуле минерала.

С учетом предложенных изменений и дополнений в систематике изоморфного ряда мышьяково-сурьмяных блеклых руд предлагается выделять три минеральных вида (теннантит, теннантит–тетраэдрит, тетраэдрит), каждый из которых может быть представлен тремя минеральными подвидами: железистым, железисто-цинковистым, цинковистым. Следовательно, мышьяково-сурьмяный род блеклых руд может быть представлен девятью минеральными подвидами. В колчеданных рудах Южного Урала выявлено 8 минеральных подвидов As–Sb блеклых руд. Из теоретически возможных пока не выявлены железистые тетраэдриты.

Изоморфный ряд сурьмяно-серебряных блеклых руд Н. Н. Мозгова [1] предлагает разделить на 3 отрезка со следующими количественными критериями содержания серебра: 1)  $Ag < 1$  ат. кол.; 2)  $1$  ат. кол.  $< Ag < 3,7$  ат. кол.; 3)  $Ag > 3,7$  ат. кол. При этом максимальное установленное количество Ag в высокосеребристом тетраэдрите может достигать более 8 ат. кол. в формуле минерала. Принимая предложенное деление Sb–Ag изоморфного ряда, мы в то же время считаем целесообразным применительно к блеклым рудам южноуральских месторождений колчеданного типа ввести еще одну условную величину —

$0,1\% < Ag < 1\%$ , разделив, таким образом, весь изоморфный ряд на 4 отрезка. Вопрос о целесообразности сохранения этого условного количественного критерия в общей систематике и номенклатуре семейства блеклых руд остается открытым. Для высокосеребристого тетраэдрита (крайний справа член изоморфного ряда) Н. Н. Мозгова предлагает одно из старейших и наиболее признанных наименований серебросодержащих блеклых руд — фрейбергит. Однако, детальный анализ известных в литературе сведений о составе фрейбергита, в том числе и в домикронную эпоху изучения минерального мира, показывает, что пределы содержания Ag в фрейбергите, как правило, укладываются в рамки 6,20–29,0%, что примерно отвечает количеству Ag более 1 и менее 4 ат. кол. в формуле минерала. Следовательно, **минеральный вид с историческим наименованием фрейбергит должен занимать промежуточное положение в Sb–Ag изоморфном ряду, а его крайний справа член (фрейбергит по Н. Н. Мозговой) с количеством  $Ag > 3,7$  ат. кол. правильнее называть аргентотетраэдритом**, что предлагается также Э. М. Спиридоновым [2]. Нами предлагается следующая номенклатура серебросодержащих блеклых руд сурьмяно-серебряного ряда: 1)  $0,1 < Ag < 1\%$  — *серебристый тетраэдрит* — разновидность; 2)  $1\% < Ag < 1$  ат. кол. — *серебросодержащий тетраэдрит* — подвид; 3)  $1$  ат. кол.  $< Ag < 3,7$  ат. кол. — *фрейбергит* — минеральный вид; 4)  $Ag > 3,7$  ат. кол. *аргентотетраэдрит* — минеральный вид. В изоморфном ряду теннантит–высокосеребристый теннантит, который реально установлен в блеклых рудах южноуральских месторождений колчеданного типа, членам ряда целесообразно присвоить следующие наименования: 1)  $Ag < 1\%$  — *серебристый теннантит*; 2)  $1\% < Ag < 1$  ат. кол. — *серебросодержащий теннантит*; 3)  $1$  ат. кол.  $< Ag < 3,7$  ат. кол. — *мышьяковый фрейбергит*; 4)  $Ag > 3,7$  ат. кол. — *аргентотеннантит*.

В соответствии с предлагаемой номенклатурой, встреченные нами высокосеребристые блеклые руды можно охарактеризовать следующим образом. *Высокосурьмяные фрейбергиты* (Учалинское месторождение) с №№ блеклых руд по М. С. Сахаровой [3] 95,3–96,0; *мышьяковые фрейбергиты* (№№ 14,7–21,0); *мышьяково-сурьмяный фрейбергит* (№29); *аргентотеннантиты* (№№ 8,7 и 14,8) и *аргентотеннантит-тетраэдриты* с №№ 35,1 и 43,2. Все мышьяковые и мышьяково-сурьмяные аналоги высокосеребристых блеклых руд установлены в колчеданных рудах Ново-Учалинского месторождения. Следует подчеркнуть, что установленный нами **аргентотеннантит**, вероятно, является **первой находкой в семействе блеклых руд в целом**, так как описанный Э. М. Спиридоновым и др. [4] «новый минерал — аргентотеннантит» соответствует №№ блеклых руд 46,3; 46,9 и 49,1 и при трехчленном делении мышьяково-сурьмяных блеклых руд **должен быть отнесен к аргентотеннантит-тетраэдриту**.

Приведенные данные убеждают нас в необходимости выделения рода *мышьяково-серебряных (теннантит–аргентотеннантит)* блеклых руд дополнительно к ранее выделенным Н. Н. Мозговой шести родам в семействе блеклых руд.

**Литература:** 1. *Мозгова Н. Н., Цепин А. И.* Блеклые руды. Особенности химического состава и свойства. М.: Наука, 1983. 280 с. 2. *Спиридонов Э. М.* О видах и разновидностях блеклых руд и рациональной номенклатуре минералов группы. Некоторые замечания об условиях образования блеклых руд//Новые данные о минералах. АН СССР, Минер.

музей им. А. Е. Ферсмана. М.: Наука, 1985, вып. 32. С. 128–146. 3. *Сахарова М. С.* Основные вопросы изоморфизма и генезиса блеклых руд//Геология рудных месторождений. 1966. № 1. С. 23–40. 4. *Спиридонов Э. М., Соколова Н. Ф., Ганеев А. К. и др.* Новый минерал – аргентотеннантит//Докл. АН СССР. 1986. Т. 290. № 1. С. 206–210.

**В. Н. Скуратов**

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ

С целью получения информации о влиянии геологических факторов на изотопный состав серы сульфидных и сульфатных минералов рассмотрены месторождения меди различных генетических типов [2]. Так, изучены данные по изотопии серы медно-порфировых (медных, медно-молибденовых, молибденовых) месторождений Урала и Казахстана. Привлечены к обсуждению данные по

медноколчеданным (колчеданным, медноколчеданным, медно-цинковоколчеданным, барит-полиметаллическим) месторождениям Урала и Рудного Алтая. Обобщены материалы по стратиформным (медным песчаникам, медным сланцам и барит-полиметаллическим) месторождениям меди Урала, Забайкалья и Центрального Казахстана. Всего обработан 3561 анализ изотопного состава серы (табл.).

**Таблица**

**ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ ( $\delta^{34}\text{S}\%$ ) СУЛЬФИДОВ И СУЛЬФАТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ**

Типы месторождений	Сульфиды				Сульфаты			
	Вариации единичных замеров		Вариации средних		Вариации единичных замеров		Вариации средних	
	от	до	от	до	от	до	от	до
Медно-порфировые	+7,8	-6,8	+ 3,3	-3,4	+ 24,0	+ 3,8	+14,9	+11,4
Медноколчеданные	+19,8	-26,8	+ 4,5	-5,7	+32,2	+10,4	+18,0	+16,0
Стратиформные	+70,0	-55,2	+16,2	-12,0	+32,8	+9,0	+25,8	+11,8

**Примечание:** обобщен 341 анализ 22 медно-порфировых, 2406 анализов 32 медноколчеданных и 814 анализов 18 стратиформных месторождений; в графе «вариации средних» приводятся пределы колебаний средних значений для месторождений в данной группе.

По изотопным данным в сульфидах четко различаются две генетические группы месторождений. Это медно-порфировые и стратиформные группы. На месторождениях медно-порфирового типа единичные замеры изотопного состава серы сульфидов варьируют от +7,8 до -6,8 %, а на стратиформных — от +70,0 до -55,2 %.

Средние значения изотопного состава серы по каждому месторождению внутри медно-порфировой группы изменяется от +3,3 до -3,4 %, а внутри стратиформной группы — от +16,2 до -12 %. Месторождения медноколчеданной группы по изотопным данным серы занимают место между описанными группами месторождений (см. таблицу). Такое промежуточное положение колчеданных месторождений хорошо объясняется с позиции их гидротермально-осадочного генезиса.

Так, в кровле и флангах колчеданных рудных тел присутствуют слоистые руды. На некоторых месторождениях в слоистых рудах установлены остатки радиолярий и сине-зеленых водорослей. Это указывает на то, что на границе осадок – море в период рудообразования существовали физико-химические условия близкие к тем, в которых формировались руды стратиформных место-

рождений. Такие условия привели к дисперсии изотопного состава серы в сульфидах колчеданных месторождений от +19,8 до -26,8 %. В то же время, наличие в рудных телах минералого-геохимической зональности симметричного и асимметричного типов указывает на то, что в зонах рудоподводящих каналов и приподошвенных частях рудных тел шли метасоматические процессы [3]. Они проходили в условиях высоких температур под действием вновь поступающих рудоносных растворов. В этих зонах существовали физико-химические условия близкие к тем, в которых отлагались руды медно-порфировых месторождений. Это привело к тому, что значительная часть сульфидов колчеданных месторождений имеет изотопный состав, варьирующий в пределах от +4,5 до -5,7 %.

К настоящему времени большинство ученых пришло к выводу о том, что в формировании месторождений стратиформного типа участвует сера эвапоритов или морского сульфата. Приведенные в таблице данные указывают на близость изотопных характеристик серы сульфатов в месторождениях медно-порфирового, колчеданного и стратиформного типов. Это дает дополнительные осно-