

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-

вания для вывода о том, что при формировании месторождений медно-порфирирового и колчеданного типов, в рудообразующих растворах присутствовала сера сульфата морских вод.

Расчеты средних значений изотопного состава сульфидов медно-порфирировых и колчеданных месторождений позволили установить, что около 90 % всех определений находятся в пределах от +6,0 до -6,0 ‰. Этот интервал изотопных вариаций характерен для серы глубинного источника или серы пород основного состава [1]. Такие данные дополняют доводы в пользу связи перечисленных типов оруденения с магматизмом. В то же время, изотопный состав сульфатов указывает на то, что в рудообразующих растворах присутствовала сера морского сульфата.

Изотопный состав серы сульфидов и сульфатов месторождений стратиформного типа характеризуется широким диапазоном единичных и средних значений. Эти данные хорошо согласуются с представлениями о низкотемпературных условиях формирования и удаленности данных руд от зон интенсивного магматизма.

Таким образом, геологические особенности формирования месторождений меди оказывают существенное

влияние на изотопные характеристики серы сульфидов и сульфатов. Однако это влияние бывает чаще всего опосредованным. Оно проявляется в изменении физико-химических условий рудообразования, вовлечении в рудообразование глубинной серы и серы морского сульфата, создании условий необходимых для активной работы сульфат-редуцирующих бактерий. Все это указывает на то, что для получения объективных данных нужно выполнять большой объем изотопных определений из различных минеральных парагенезисов и зон месторождений. Расшифровку изотопных данных по сере необходимо проводить в тесной увязке с минералогическими и геологическими данными.

Литература: 1. *Омото Х., Рай Р. О.* Изотопы серы и углерода // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1982. С. 405–450. 2. Рудные месторождения СССР / Под ред. В. И. Смирнова: В 3 т. М.: Недра. Т. 2. 1974. С. 99–168. 3. *Скуратов В. Н.* Вещественный состав и зональность рудных тел // Учалинское медно-цинковоколчеданное месторождение уральского типа. Уфа, 1992. С. 45–79.

В. Н. Скуратов

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ РУД БАШКОРТОСТАНА

Руды медноколчеданных месторождений Башкортостана являются источником поликомпонентного сырья. Однако из этих руд извлекаются преимущественно медь, цинк, сера. Остальные компоненты извлекаются в незначительных количествах. Это обусловлено тем, что значительные количества редких и благородных металлов в ходе селективного разделения руд переводятся в пиритный концентрат. Из него по существующей технологии извлекают серу (для производства серной кислоты) и частично селен и теллур. Такие компоненты как железо, золото, серебро, медь, цинк, свинец, индий, германий, кобальт с пиритными огарками направляются в отвалы и цементную промышленность. Расчеты указывают на то, что стоимость редких и благородных металлов в медноколчеданных рудах составляет более 50 % от стоимости основных металлов. Объемы переведенных в отвалы металлов огромны. Это хорошо видно на примере золота и серебра. От всего объема в рудах в продуктивные концентраты извлекается около 10 % благородных металлов. Остальные количества золота и серебра уходят в отвалы. Но так как золото и серебро из отвальных продуктов не извлекаются, то и обогатительные комбинаты за эти металлы не получают ни рубля. Если добиться увеличения извлечения золота и серебра в нужные продуктивные концентраты только на 1 %, то по существующим на мировом рынке ценам это составит примерно 507200 долларов США.

Такая ситуация обусловлена тем, что технологические схемы переработки медноколчеданных руд разрабатывались в конце 50-х годов. Тогда существовало представление о тонкодисперсном вхождении практически всего золота и серебра в пирит. Делался вывод, что селективными методами флотации медноколчеданных руд невозможно разделять золото и серебро целенаправленно по продуктивным концентратам. Благородные металлы останутся в пирите и в основной своей массе перейдут в пиритный концентрат. В последующие годы было установлено, что значительная часть золота и серебра в медноколчеданных рудах имеет собственные минеральные формы. Отсюда возникает возможность их перераспределения в нужные продуктивные концентраты. Эти выводы получили промышленное подтверждение. Так, на Гайской обогатительной фабрике благодаря небольшим изменениям в технологии переработки медноколчеданных руд извлекали около 50 % золота в медный и цинковый концентраты. На Учалинской обогатительной фабрике из тех же руд и с того же месторождения извлекали в медный и цинковый концентраты около 15 %. Такие примеры можно привести не только по золоту и серебру, но и по другим металлам.

Чтобы повысить извлечение всех металлов в продуктивные концентраты, нужно внести коррективы во всю технологическую цепочку от добычи до переработки руд на обогатительной фабрике. В этой технологической схеме необходимо предусмотреть селективную выемку