

На месторождении Любин-Серошовице было показано, что первичные руды на стадиях катагенеза подверглись воздействию поздних окислительных растворов, приведшему к их перераспределению с образованием зон гематитизации (Rote Faule), выщелачивания и вторичного сульфидного обогащения и привнесению радиоактивных элементов и платиноидов (Ермолаев и др., 1996).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 05-05-64952, 08-05-00799).*

### Список литературы

Габлина И.Ф. Тетрагональный сульфид меди (1) в природных рудах // Докл. РАН. 1992. Т. 323. № 6. С. 1170-1173.

Габлина И.Ф., Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Богданов Ю.А., Старостин В.И., Кузнецова О.Ю., Фардуст Ф. Тетрагональная форма  $\text{Cu}_2\text{S}$  в современных гидротермальных рудах Рейнбоу (САХ,  $36^\circ 14' \text{с.ш.}$ ) // Новые данные о минералах. М. 2004. Вып.39. С. 102-109.

Габлина И.Ф., Семкова Т.В., Степанова Т.В., Горькова Н.В. Диагенетические изменения сульфидов меди в современных рудоносных осадках гидротермального поля Логачев-1 (Срединно-Атлантический хребет,  $14^\circ 45' \text{с.ш.}$ ) // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 1. С. 32-50.

Ермолаев Н.П., Габлина И.Ф., Бернард В.В. Перераспределение платиноидов, золота и серебра в медистых песчаниках и сланцах (Польша, Н.Силезия) // Геохимия. 1996. № 9. С. 840-851.

Лурье А.М., Габлина И.Ф. Зональный ряд сульфидов на месторождениях меди красноцветных формаций // Геохимия. 1976. № 1. С. 109-115.

Сатпаева М.К. Руды Джекказгана и условия их формирования. Алма-Ата.: Наука. Каз.ССР. 1985. 237 с.

Yund R., Kullerud G. Thermal stability of assemblages in the Cu-Fe-S system // J. Petrol. 1966. V. 7. Pt. 3. P. 454-488.

RMS DPI 2008-3-10-0

### ГЛАВНЕЙШИЕ ТИПЫ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ И ИХ ТИПОМОРФНЫЕ МИНЕРАЛЫ

**Ерёмин Н.И. ([eremin@geol.msu.ru](mailto:eremin@geol.msu.ru)), Дергачёв А.Л. ([alderg@geol.msu.ru](mailto:alderg@geol.msu.ru)),  
Сергеева Н.Е. ([nat.@geol.msu.ru](mailto:nat.@geol.msu.ru))**

*Московское отделение. Московский государственный университет*

### THE PRINCIPAL TYPES OF VOLCANOGENIC MASSIVE SULFIDE DEPOSITS AND THEIR TYPOMORPHIC MINERALS

Eremin N.I., Dergachev A.L., Sergeeva N.E.  
*Moscow Branch. Moscow State University*

В настоящее время обширное (несколько тысяч объектов) семейство колчеданных месторождений, подразделяется на две группы. Одна из них связана с вулканогенными формациями при незначительной роли осадочных образований, тогда как представители другой ассоциируют с осадочными формациями. В дальнейшем речь пойдет только о типизации фанерозойских месторождений первой группы.

Принимая в качестве основополагающих классификационных признаков состав рудоносных вулканогенных формаций и состав руд, в группе колчеданных месторождений вулканической ассоциации мы выделяем: 1) медно- и медно-цинково-колчеданные месторождения в недифференцированных базальтоидных (офиолитовых) формациях и 2) медно-цинково-колчеданные и колчеданно-полиметаллические (иногда с баритом) месторождения в бимодальных базальт-риолитовых и последовательно дифференцированных базальт-андезит-дацит-риолитовых формациях (Еремин и др., 2000).

Представляется целесообразным выделение в первом из названных выше множеств месторождений кипрского и бесси типов, а во втором – куроко и уральского.

По многим минералогическим и геохимическим особенностям руды месторождений типов бесси и кипрского весьма близки. Однако, на месторождениях типа бесси не наблюдается полного разреза, свойственного офиолитовым комплексам. Это обстоятельство наряду со значительной долей терригенных образований в рудовмещающем разрезе и явилось основанием для обособления этих месторождений в отдельный тип.

Месторождения кипрского типа характеризуются медноколчеданным или медно-цинковым составом руд. Средние (по учтенным авторами 59 месторождениям) содержания металлов в рудах этих месторождений составляют 2,2% Cu и 0,7% Zn. Для них характерны высокие значения отношения  $100\text{Cu}/(\text{Cu}+\text{Zn})$  и следовательно, резкое преобладание меди над цинком. Наиболее существенными различиями руд месторождений типа бесси являются более низкие средние содержания Cu и Zn и в свойственное им несколько более высокое медно-цинковое отношение. Геохимическая специализация месторождений этих типов определяется повышенными содержаниями Co и Ni, а также As и Sb.

Наиболее распространенные рудные минералы месторождений кипрского типа – пирит, пирротин, халькопирит; несколько реже встречаются сфалерит, пентландит, магнетит, гематит, хромит (Еремин и др., 2007).

Основные минералы-носители Co и Ni в рудах – пирит и пирротин, причем Co охотнее входит в решетку дисульфида, а Ni – моносульфида Fe. Несмотря на повышенное содержание Co и Ni в сульфидах железа собственные минералы этих металлов встречаются редко. Среди них преобладают сульфиды, арсениды и сульфоарсениды. Наиболее распространены пентландит и кобальт-пентландит.

В отличие от медно-никелевых месторождений с присущим им низкокобальтовым пентландитом, в рудах колчеданных месторождений развита в основном высококобальтовая разновидность этого минерала. В то же время для большинства объектов при меняющемся содержании Co отношение Ni/Fe в нем остается постоянным и близким к 1. Из редких минералов присутствуют арсенопирит, кобальтин, глаукоdot, никелин, валлериит, миллерит, бравоит, линнеит, виоларит, зигенит, макинавит и кобальтовый макинавит, мелонит, борнит, марказит, самородное золото. Блеклые руды, как правило, представлены теннантитом.

К числу рудных минералов, пользующихся наибольшим распространением на месторождениях типа бесси, относятся пирит, пирротин, халькопирит и сфалерит; кроме них в различных количествах могут встречаться магнетит, валлериит, галенит, борнит, тетраэдрит, кобальтин, коралит, кубанит, станнин, молибденит, халькозин, марказит, мушкетовит, гессит, самородное золото, германит, энаргит, арсенопирит; нерудные минералы представлены кварцем, карбонатом, мусковитом, хлоритом, турмалином, альбитом, эпидотом и амфиболом.

Месторождения уральского и куроко типов демонстрируют значительные различия в составе руд, хотя и близки по содержаниям меди и цинка.

Месторождения уральского типа сложены преимущественно медно-цинковыми рудами. Содержания меди и цинка в них колеблются от долей процента до 10 и 8% соответственно. Средние содержания Cu превышают 2% примерно на трети, а Zn – почти на половине месторождений уральского типа. Отношение Cu/Zn намного ниже по сравнению с типами кипским и бесси. Вместе с тем из 106 проанализированных месторождений только на 32 установлены содержания свинца (не превышают 0,86%), а его доля в сумме металлов не больше 10%. Месторождения этого типа отличаются повышенными содержаниями Se, Te, Ge, Tl, Sn (Авдонин, Сергеева, 1999).

Для месторождений уральского типа характерны разнообразные теллуриды, что хорошо видно на примере месторождений Урала: Гайского, Сибайского, Яман-Касы (S–D) и других колчеданосных провинций мира – Турция, Болгария ( $K_2$ ), Норвегия ( $O_1$ ). В них встречается самородный теллур, и многочисленные теллуриды (гессит, штютцит, петцит, сивьянит, волинскит, эмпрессит, алтаит, фробергит, колородит, креннерит, голдфилдит, теллуrowисмутит).

Другая особенность минерального состава медноколчеданных руд месторождений уральского типа – распространение в них сульфидов Sn, Ge, V. В месторождениях Урала они представлены станнином, изоструктурными с ним станноидитом, моусонитом и близкими к ним по структуре германитом и реньеритом, а также колуситом и арсеносульванитом.

По сравнению с уральским типом, месторождения типа куроко демонстрируют обогащение руд цинком относительно меди и свинцом относительно цинка. Месторождениям типа куроко свойствен полиметаллический состав часто баритсодержащих руд. Содержания меди в месторождениях типа куроко колеблются от тысячных долей до 6,3%, однако превышают 2% лишь в 20% случаев, что

существенно ниже, чем для уральского и тем более кипрского и бесси типов. Сравнительно низкой (17%) оказывается и доля месторождений, руды которых содержат больше 2% Zn. В то же время только среди месторождений типа куроко около 30% составляют объекты, в рудах которых содержится более 2% свинца. По распределению величины  $100Pb/(Pb+Zn)$  этот тип резко отличается от всех остальных: половина из 185 месторождений в базе данных и 75% запасов характеризуются величинами  $100Pb/(Pb+Zn)$  от 20 до 40.

Практически все месторождения этого типа содержат заметные концентрации серебра и золота в рудах. Средние содержания благородных металлов в рудах месторождений типа куроко составляют 1,3 г/т Au и 62,8 г/т Ag. В составе руд месторождений типа куроко серебро изоморфно входит в галенит и блеклую руду, а также образует собственные минералы, в то время как золото присутствует, в основном, в виде электрума (Еремин и др., 2000). Так, в молодых (миоценовых) месторождениях Куроко (Япония) описаны аргентит, ялпаит, штрмейерит, маккинстрит, штернбергит, пирсеит-полибазит, пираргирит-прустит и матильдит. Для большинства колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая – девонских аналогов миоценовых месторождений Куроко также характерно широкое распространение минералов Ag: самородное Ag и электрум, акантит, гессит, несколько в меньшей степени - штрмейерит, фрейбергит, пираргирит, стефанит. В отличие от миоценовых месторождений Куроко, здесь отмечаются и теллуриды Ag (гессит, петцит, сивланит). Наиболее молодые рудноалтайские месторождения франского возраста характеризуются наименьшим количеством собственных минералов Ag. Основную долю из встречающихся здесь собственных минеральных форм Ag составляют самородное серебро и электрум, в единичных случаях встречаются акантит, пираргирит, несколько чаще фрейбергит. Подавляющее количество Ag заключено в галените. Большее распространение имеют серебряные минералы в рудах месторождений эмского возраста. Прежде всего содержание Ag повышается здесь во втором (после галенита) минерале-носителе Ag – блеклой руде, характеризующейся существенно тетраэдритовым составом. Из собственных минералов Ag известны электрум, акантит, гессит, сивланит, пирсеит, стибнопирсеит пираргирит, миаргирит фрейбергит, штрмейерит, ялпаит, дискразит, стефанит, полибазит, диафорит.

Разнообразный ряд минералов в колчеданных месторождениях дают такие элементы, как As, Sb, Bi. Их сульфиды: реальгар, стибнит, гетчелит, присущи миоценовым месторождениям Куроко (в этом проявляется их сходство с современными гидротермальными рудами), в то время как в более древних рудах отмечается лишь висмутин. Содержание Bi, на отдельных объектах достигает промышленных величин. Причем, даже при низком содержании Bi в рудах (сотые и тысячные доли процента) отчетливо проявляется его способность к образованию собственных минеральных фаз, чаще всего самородного Bi и висмутина, реже теллуридов и сульфотеллуридов, разнообразных сульфосолей.

В рудах месторождений Рудного Алтая установлена отчетливая зависимость числа висмутовых минералов от возраста месторождений и состава руд. По мере омоложения возраста от эмского, эйфельского до эйфель-живетского и франского числа минералов Bi в рудах в целом увеличивается, т.е. наблюдается тенденция прямо противоположная проявлению здесь серебряной минерализации, отмеченной выше.

Таким образом по мере усложнения химического состава и связанного с ним минерального состава руд по главным минералам от месторождений кипрского и бесси типов к месторождениям уральского и куроко типов возрастает и разнообразие встречающихся в них редких минералов. Это происходит как за счет появления новых групп, так и за счет появления новых минеральных видов в группах. По мере «утяжеления» основных рудообразующих металлов в ряду месторождений от кипрского и бесси типов к уральскому и далее к типу куроко ( $Cu > Cu+Zn > Cu+Zn+Pb$ ), происходит вовлечение в рудообразующий процесс все более тяжелых попутных элементов (Te, Sb, Bi), что приводит к образованию минералов, обладающих большими средними атомными номерами и молекулярной массой. Таким образом, это обстоятельство, наряду с обогащением руд типа куроко цинком относительно меди и свинцом относительно цинка, а также с данными изотопных исследований, выявивших более высокую долю радиогенного свинца на месторождениях типа куроко, указывает на более высокую степень участия материала сиалической (континентальной) коры в магмообразовании.

К возможным докембрийским аналогам месторождений кипрского типа, могут быть отнесены раннепротерозойские месторождения рудного района Оутокумпу (Финляндия) в пределах Свекофеннского пояса на Балтийском щите: Оутокумпу, Вуонос и Луйконлахти.

Докембрийскими (позднепротерозойскими) примерами месторождений типа бесси являются также Бом-Жардин в Бразилии (862 млн лет), а также Блейда в Антиатласе, месторождения Отжигасе и Матчлесс в орогене Дамара и наиболее древние из месторождений Аппалач, в том числе и крупнейшие из них (Дактаун, Госсан-Лед), сформировавшиеся около 760 млн лет назад.

В качестве древних, раннепротерозойских аналогов месторождений уральского типа рассматриваются колчеданные месторождения раннепротерозойских зеленокаменных поясов южной части провинции Черчилл (в том числе поясов Флин-Флон, Расти-Лейк, Линн-Лейк, комплекса Киссейню), Лабрадорского трога и провинции Южная Канадского щита, а также района Джером в США

Позднеархейские месторождения-аналоги уральского типа характеризуются медно-цинковым составом руд, существенным преобладанием цинка над медью при их средних содержаниях соответственно 3,3 и 1,1% и очень низких содержаниях свинца, которые достигают промышленных лишь на некоторых очень небольших (с запасами не более 2 млн. тонн руды) месторождениях провинции Слейв (Индиан-Маунтин, Санрайз, Беар). Только среди позднеархейских аналогов уральского типа встречены месторождения, которые правильнее было бы называть цинковоколчеданными в связи с отсутствием в их рудах промышленных количеств не только свинца, но и меди (некоторые месторождения пояса Абитибид).

В то же время раннепротерозойскими аналогами месторождений типа куроко, вероятно, являются колчеданно-полиметаллические месторождения, расположенные в Свекофеннском поясе Балтийского щита, в пределах рудных районов Бергслеген (Зинкгруван, Фалун, Гарпенберг и другие) и Шеллефте (Кристенеберг, Лонгселе, Раккеяур и другие) в Швеции, а также их возможных продолжений на противоположном берегу Ботнического залива, в Финляндии (соответственно колчеданные пояса Эйяля–Ориярви и Виханти–Пюхясалми с одноименными месторождениями). По важнейшим геохимическим признакам руд они напоминают фанерозойские месторождения типа куроко; они тоже характеризуются выраженным полиметаллическим составом, преобладанием цинка над медью и свинцом высокими содержаниями Ag (до 350 г/т), Au (в исключительных случаях до 15 г/т), Sb (0,06-0,23%), Hg (до 0,034%) и некоторых других металлов. В тоже время по сравнению с фанерозойскими месторождениями типа куроко они характеризуются более низкими средними содержаниями меди, свинца, а также более низкими значениями  $100\text{Cu}/(\text{Cu}+\text{Zn})$  и  $100\text{Pb}/(\text{Pb}+\text{Zn})$ .

Для метаморфизованных палеозойских и особенно докембрийских руд - независимо от их принадлежности к аналогам того или иного типа - характерно присутствие сульфоантимонитов Pb (буланжерит, бурнонит, джемсонит, геокронит, менегенит, иорданит, андорит), а также антимонидов и сульфоантимонидов Fe и Ni (гудмундит, брейтгауптит, ульманит, нисбит, бертьерит), в которых сурьма, возможно, является продуктом разложения первичных блеклых руд.

Можно предполагать, что метаморфическое образование редких минералов происходит в результате, по крайней мере, трех главных процессов:

1) разложение первичных минералов:

теннантит-арсенопирит+халькопирит+сфалерит+(блеклая руда),

тетраэдрит-пирротин(халькопирит)+гудмундит,

тетраэдрит-пирротин+халькопирит+Sb<sub>сам.</sub>+(сфалерит)+(гудмундит),

тетраэдрит+галенит-тетраэдрит+менегенит+халькопирит+сфалерит+арсенопирит+Ag<sub>сам.</sub>

2) мобилизация рассеянных элементов-примесей с образованием их собственных минеральных видов: V – щербинаита, карелианита, ноланита; U – уранинита; Sn – станнина, теллуруконфильдита; Mo – молибденита и сульфида свинца и молибдена.

3) рассеяние главных (конституционных) рудообразующих элементов (Ba, Zn) с появлением силикатов бария (гиалофана-цельзиана, анандита, кимрита) и цинк-содержащих оксидов и силикатов (ганита, ставролита, мусковита и др.).

### Список литературы

Авдонин В.В., Сергеева Н.Е. Редкие металлы в эволюционных рядах колчеданно-полиметаллических месторождений // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 1999. № 4. С. 40-48.

Еремин Н.И., Сергеева Н.Е., Дергачев А.Л., Позднякова Н.В. Благородные металлы в вулканогенных колчеданных месторождениях // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2000. № 2. С. 52-59.

Еремин Н.И., Сергеева Н.Е., Дергачев А.Л. Типоморфизм редких минералов колчеданных руд и их геохимический тренд // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2007. № 2. С. 40-48.