УДК 549.1

Д.А.ПЕТРОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ РУД РУБЦОВСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

Представлены результаты изучения структуры руд Рубцовского колчеданно-полиметаллического месторождения. Материалом для исследований послужили полированные шлифы свинцово-медно-цинковых руд. Изучен минеральный состав руд, установлен порядок кристаллизации рудных минералов. Обнаружены и описаны различия в структуре и минеральном составе руд из разных частей рудного тела. Гранулометрический анализ минеральных зерен проведен на персональном компьютере при помощи программных пакетов VideoTest и Excel-98. Включения халькопирита в сфалерите изучались методами электронной микроскопии. Сделаны выводы об условиях образования руд и их технологических свойствах.

The article presents results of research in ore textures from the Rubtsovskoe polymetallic deposit. Materials for the research included polished section of led-copper-zinc ores. Mineral composition of the ores was studied, and crystallization sequence of the ore minerals was determined. Difference in ore textures and mineral composition of ore bodies from different parts was discovered and described. Computer-assisted stereometric analyses of mineral grains were made with application of the VideoTest and Excel-98 software packages. Chalcopyrite inclusions in sphalerite were investigated using electronic microscopy. Conclusions about conditions of ore genesis and technological properties were made.

Рубцовское полиметаллическое месторождение расположено в Алтайском крае, в 40 км от г.Рубцовска. Рудовмещающие метасоматиты, развитые по осадочным и вулканогенно-осадочным породам кислого состава, представлены вторичными кварцитами и аргиллизитами. Месторождение представлено линзообразым рудным телом, осложненным флексурной складкой. Протяженность рудного тела с запада на восток (по падению) около 800 м, с севера на юг – около 400 м, мощность колеблется в пределах 0,5-12 м, составляя в среднем 5,3 м.

Согласно принятой классификации, Рубцовское месторождение относится к типу Куроко. Руды сложены пиритом, халькопиритом, сфалеритом и галенитом. Второстепенные и жильные минералы – блеклые руды, кварц, карбонаты, серицит. Подсчитанные запасы руды составляют 2500 тыс.т. при среднем содержании меди 4,5 %, свинца – 6,4, цинка – 11,6. С декабря 2004 г. начата эксплуатация месторождения. Исследования руд представляют большой интерес с технологической точки зрения.

Целью работы является изучение структуры руд Рубцовского месторождения для реконструкции условий их образования и предварительного прогноза технологических свойств. В ходе работы решались следующие задачи:

- описание генераций рудных минералов и выделение стадий минералообразования;
- изучение тонких особенностей строения рудных агрегатов и зерен;
- определение вариаций структуры в разных частях рудного тела;
- сравнение особенностей структуры руд Рубцовского месторождения и руд Александринского месторождения (Южный Урал), для которых ранее проводились морфометрический анализ и изучение технологических свойств.

Автором исследованы полированные шлифы руд, отобранные из керна скважин при доразведке Рубцовского месторождения в 2002 г. Изучение минерального состава и анализ структуры руд проводилось в лаборатории онтогении минералов на кафедре минералогии, кристаллографии и петрографии Санкт-Петербургского горного института. С помощью компьютерного видеоанализатора, оборудованного на базе поляризационного микроскопа «Opton Axioplan» фирмы «Zeiss» и пакета программ VideoTest были получены микрофотографии зерен рудных минералов и их агрегатов. Затем по методике, разработанной Ю.Л.Гульбиным*, была измерена крупность зерен и в программе Excel-98 построены гранулометрические кривые. Тонкие особенности структуры руд изучались при помощи растрового электронного микроскопа с микроанализатором JSM-6460LV (фирма «Jeol») в лаборатории анализа вещественного состава.

Согласно существующей модели формирования, колчеданные месторождения являются полигенными – первичные сульфидные (пиритовые) руды, образовавшиеся на морском дне эксгаляционно-осадочным путем, подвергаются затем воздействию следующих порций гидротермальных растворов, обогащенных цветными металлами: медью, цинком, свинцом, серебром и золотом**. Это приводит к разнообразию выделений рудных минералов, широкому развитию в рудах процессов перекристаллизации и замещения.

По данным предыдущих исследований и на основании изучения аншлифов руд составлена примерная схема стадийности рудоотложения. Выделены две главных стадии: эксгаляционно-осадочная и гидротермальная. На первой стадии при отложении сульфидных осадков на морском дне (аналогично известным в современных морях «черным курильщикам») образовывались пирит-халькопиритовые руды, для которых характерны колломорфные, концентрически-зональные и почковидные агрегаты пирита и халькопирита. Позднее ранний пирит-1 замещается халькопиритом или подвергается перекристаллизации с образованием крупных и относительно чистых от включений зерен пирита-2. При этом концентрически-зональные структуры часто сохраняются.

На следующей стадии (гидротермальной или полиметаллической) происходит привнос новых порций меди, цинка и свинца. В свою очередь, эту стадию можно разделить на две подстадии – сфалеритовую и халькопирит-галенит-пиритовую. Вначале отлагался сфалерит, часто образующий крупные зерна, которые затем замещались галенитом или поздним халькопиритом. Очень характерными для второй половины гидротермальной стадии являются агрегаты, состоящие из халькопирита, галенита и позднего переотложенного пирита. Эта генерация (пирит-3) представлена мелкими идиоморфными кристаллами (обычно кубического габитуса), насыщающими халькопирит. Проведен гранулометрический анализ зерен этой генерации. Как видно из построенных гранулометрических кривых (см. рисунок), модальный размер зерен пирита-3 в разных образцах колеблется от 0,1 до 0,2 мм, а распределение их по размерам близко к логнормальному.

Еще одной особенностью руд Рубцовского месторождения является наличие тонкой вкрапленности халькопирита в сфалерите. При изучении под электронным микроскопом выделено три разновидности этой вкрапленности. Первая – пластинчатые вы-



Пример гранулометрической кривой для пирита-3

* *Гульбин Ю.Л.* Методы количественного анализа и моделирование структуры минеральных агрегатов / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2004.

** *Еремин Н.И.* Дифференциация вулканогенного сульфидного оруденения. М.: Изд-во МГУ, 1983.

деления длиной до 10 мкм, толщиной 1-2 мкм, часто ориентированные параллельно друг другу, встречаются относительно редко, в ядерных частях зерен сфалерита.

Вторая – округлые включения размером 0,5–2 мкм, часто группирующиеся по зонам роста сфалерита. Третья – более крупные (до 10-15 мкм) ксеноморфные включения халькопирита в интерстициях мелкозернистых агрегатов сфалерита. В литературе рассматривается несколько моделей образования халькопиритовых включений в сфалерите. Автор предполагает, что включения образовались в процессе роста сфалерита, который захватывал капли раствора, содержащего медь и железо. При дальнейшем снижении температуры, когда структура сфалерита стала более жесткой, часть этих включений приобрела пластинчатую форму и ориентировку по плоскостям спайности. В любом случае, такие структуры приводят к повышенному содержанию меди и железа в приповерхностных зонах зерен сфалерита, что может стать серьезной проблемой при обогащении руд методом флотации.

Следует отметить связь тех или иных структур с общей структурой рудного тела. При сопоставлении структуры руд с точками отбора образцов обнаружено, что ранние минеральные ассоциации и структуры отложения (колломорфные агрегаты халькопирита и пирита) лучше всего сохранились в боковых частях месторождения, где руды залегают субгоризонтально. Поздние же (гидротермальные полиметаллические) ассоциации и структуры замещения (переотложенный пирит-3, халькопиритовая вкрапленность в сфалерите) шире всего развиты именно в точке предполагаемой складки, что может объясняться повышенной проницаемостью подстилающих пород для гидротермальных растворов. Таким образом, можно говорить о наложенной зональности в месторождении.

Полученные результаты сравнивались с результатами изучения руд Александринского месторождения. Несмотря на различия в составе руд (Александринское месторождение является медно-цинковым, а Рубцовское – полиметаллическим), очевидно сходство их строения. В обоих случаях наблюдается смена первичных структур отложения (колломорфных, сферолитовых и т.д.) полнокристаллическими структурами в результате перекристаллизации и замещения. Состав поздней минеральной ассоциации, замещающей первичные халькопирит-пиритовые руды, определяется составом воздействующих на них гидротермальных растворов. На Александринском месторождении поздняя минеральная ассоциация представлена сфалеритом и борнитом, а на Рубцовском – сфалеритом, халькопиритом и галенитом. Вкрапленность халькопирита в сфалерите на Александринском месторождении, в отличие от Рубцовского, не обнаружена.

При исследовании руд Александринского месторождения хорошо зарекомендовал себя метод характеристики формы зерен при помощи фрактального анализа. Проведенные эксперименты показали, что раскрываемость минеральных сростков при дроблении обратно пропорциональна фрактальной размерности межзеренных границ. Это позволяет использовать фрактальную размерность и для прогноза обогащения руд Рубцовского месторождения.

Работа выполнена при поддержке Американского фонда гражданских исследований и развития в рамках гранта ST-015-02.

Научный руководитель д.г.-м.н. проф. *Ю.Б.Марин*