

УДК 553.661.2

© И.А.Богуш, А.А.Бурцев, 2006

МИНЕРАЛОФИЗИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ РУДНЫХ ТЕЛ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОЛЧЕДАННОГО СЕМЕЙСТВА

И.А.Богуш, А.А.Бурцев (Южно-Российский государственный технический университет)

При локальном прогнозе колчеданного оруденения ведущую роль играет правильное определение направления максимальной изменчивости минералогенетических показателей. Это градиент, знак которого зависит от конкретного изучаемого показателя (микротвердость, термо-э.д.с., термобарогеохимические, кристалломорфологические и др.). Каждый из этих показателей может быть охарактеризован своим градиентом, и эти градиенты отражают зональность колчеданных объектов, которая нередко проявляется лишь на латентном уровне. Формирование зональности обусловлено сочетанием генетических и эпигенетических факторов. Определение характера зональности, структурных и генетических позиций оруденения существенно осложняется известной конвергентностью колчеданных руд.

В свое время в геологической практике существовало мнение о так называемых проходящих, или сквозных, минералах (кварц, пирит, магнетит) как о геологически неинформативных. Действительно, на макроуровне в большинстве случаев сам факт присутствия такого минерала не указывает на наличие руды. Однако если наличие самого минерала не есть признак, то генетически информативными могут быть некоторые его свойства. Пирит — базовый и самый информационно емкий минерал колчеданных руд. Информация об условиях минералогенеза может быть доступна на микроуровне и на уровне минералофизических параметров, которые для разных типов колчеданной

минерализации показательны даже на визуальном макроуровне в неизменных рудах, но конвергируют в результате метаморфических трансформаций. В полигенных и метаморфизованных колчеданных рудах лишь по макроструктурным показателям практически невозможно определить количественное соотношение генетически различающейся рудной минерализации. Ранее изучались причины различий физических показателей пирита для определения его генетических разновидностей [5]. Впоследствии наиболее логичными в этом направлении оказались результаты работ по выделению генетических типов пирита [1] и выявлению его онтогенеза на уровне микроморфогенетических структур [2].

При этом учитывается, что практически каждое единичное зерно пирита, слагающего колчеданное тело, как правило, гетерогенно по своей природе — в нем отражается эволюция условий колчеданного рудогенеза во времени. Эта информация сохраняется в закономерностях сочетания конституционных и градиционных свойств пирита. Существуют известные методы и приемы, позволяющие в свете учения об онтогении минералов (Д.П.Григорьев, А.Г.Жабин, Н.П.Юшкин) расшифровать эту информацию на уровне минерала. Текстурно-структурные особенности руд колчеданных месторождений есть результат проявления ряда процессов: гидротермально-осадочного и гидротермально-метасоматического рудонакопления, а также син- и эпигенетического перераспределения вещества, диагене-

тического и метаморфического преобразования руд. Так, ядро зерна (кристалла) может быть сложено осадочным или диагенетическим пиритом, промежуточная оболочка — гидротермальным, а периферия — наложенным метаморфическим. При этом генетически различающиеся зоны кристалла имеют четко выраженные типоморфные минералофизические показатели (твердость, термо-э.д.с., электропроводность и др.), поэтому соотношение типоморфных показателей пирита при статистической значимости результатов дает адекватное представление о соотношении содержаний генетических типов пирита в колчеданных рудах.

Конвергентность руд может быть практически полностью устранена в случае применения комплекса минералофизических методов, выявляющих латентную генетическую информацию на количественном уровне. Комплексный подход к геологическим исследованиям вообще и к прогнозным в частности трактуется как принцип полноты учета генетических факторов [3]. В настоящее время этот подход обрел четко выраженный параметрический характер [4]. Генетическая принадлежность руд, имеющих колчеданный базис, может быть уверенно установлена по комплексу физических характеристик проходящего рудного минерала — пирита. Это подтверждено нами в ходе изучения 30 колчеданных объектов на Северном Кавказе и Южном Урале. Наиболее информативным показателем пирита является микротвердость. Исследования микротвердости проводились по стандартной методике (С.И.Лебедева) в зернах и агрегатах полированных шлифов. Микротвердость оценивается по модальным значениям на гистограммах для каждого образца. Модальные значения типоморфны, они точно характеризуют генетическую принадлежность исследуемого пирита. В случае полигенности зерен и кристаллов пирита на гистограммах микротвердости проявляются 2–3 модальных пика. Микротвердость исследованных пиритов варьирует в широком диапазоне значений (рис. 1) и является типоморфной интегральной величиной.

Скрытая внутрирудная зональность, выявляемая на минералофизическом уровне, фиксируется среди прочего изменением процента содержания в образцах отдельных видов типоморфных структур и текстур рудных агрегатов (диагенетических, автобластических, метаморфогенных и др.), а также вариацией кристалломорфологических, кристаллоанатомических и других характеристик. При изучении микротвердости процентное соотношение пиритов, обладающих разной степенью метаморфизма, определялось по количественному попаданию

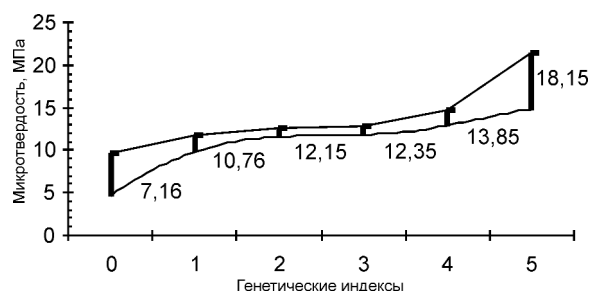


Рис. 1. Типоморфные интервалы микротвердости генетических типов пирита:

0 — осадочный, 1 — диагенетический, 2 — автобластический, 3 — гидротермально-метасоматический, 4 — регионального метаморфизма, 5 — локального метаморфизма

конкретного значения в тот или иной типоморфный интервал микротвердости (см. рис. 1). Эти интервалы могут быть сгруппированы на генетической основе: (тип 0+тип 1)→(тип 2+тип 3)→(тип 4+тип 5). Такая группировка охватывает весь онтогенетический цикл пирита в колчеданном объекте [2].

Для изображения природы руд, базис которых сложен различными генетическими типами пирита, успешно может быть применена стандартная треугольная диаграмма (рис. 2).

На рис. 2, а вершины треугольника соответствуют максимальному развитию процессов: левая — гидротермальный рудный седиментогенез, диагенез рудных осадков; верхняя — автобластез+метасоматоз; правая — эпигенетические трансформации: наложенный региональный и локальный метаморфизм. Тогда точки, отображающие соотношение генетических типов пирита в образце, попадая в малый треугольник № 1, будут соответствовать онтогенетическому пространству с доминированием признаков осадочно-диагенетического происхождения. Точка, помещенная в малый треугольник № 2, будет соответствовать господству в пределах образца признаков синрудного гидротермального метасоматоза. Малый треугольник № 3 будет содержать образцы пирита, слагающего базис комбинированных руд. Эти руды, визуальнo конвергентные с другими промышленно-генетическими типами руд, на минералофизическом уровне еще не утратили признаков первичной генетической принадлежности, однако в значительной степени уже приобрели сингенетичные признаки автосоматически измененных руд и в ходе онтогенеза залежи начинают претерпевать эпигенетическое воздействие факторов регионального (зеленокаменного) метаморфизма. Треугольник № 4 соответствует максимальному развитию процессов наложенного

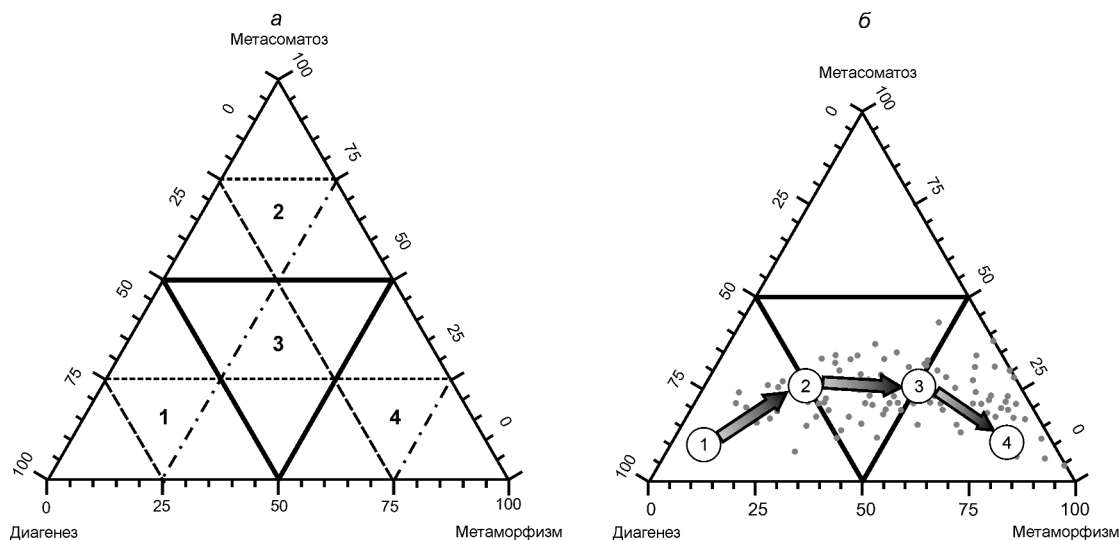


Рис. 2. Генетические диаграммы колчеданного рудогенеза (а) и микротвердости пирита (б):

пояснения см. в тексте

метаморфизма. Образец, генетические координаты которого определяются ближайшими окрестностями правой вершины треугольника, является продуктом метаморфизма; выяснение его первичной генетической принадлежности весьма проблематично.

На рис. 2, б изображена схема онтогенеза пирита колчеданной залежи в аспекте эволюции микротвердости пирита, представляющая собой сводную генетическую диаграмму микротвердости пирита месторождений Джусинское и Барсучий Лог (по разрезам 10 скважин, более 6 тыс. единичных замеров). Оцифрованными стрелками на диаграмме обозначены фазы преобразования руд, базис которых сложен гидротермально-осадочным и осадочно-диагенетическим пиритом, в метаморфические руды, содержащие метаморфизованный и метаморфогенный пирит.

Так, будучи первично осадочно-диагенетическим, пирит, подвергаясь аутометаморфизму (стрелка 1), постепенно утрачивает признаки первичной генетической принадлежности (стрелка 2). Из левого треугольника точка, обозначающая соотношение значений микротвердости, перемещается в центральный. Условно воздействие всей совокупности процессов рудогенеза на образец можно представить в виде аналогии, описываемой привычными терминами «точка», «плоскость» и «сила» как векторная величина. На осадочный пирит сульфидной постройки практически тут же начинают воздей-

ствовать процессы аутометасоматоза, аутометаморфизма, а впоследствии и наложенного метаморфизма. В рамках предлагаемой графической модели это соответствовало бы тому, как если бы на точку, соответствующую образцу осадочного пирита (левая вершина треугольника), начали действовать две неравные и постоянно изменяющиеся силы. Равнодействующая этих сил и будет определять «траекторию», вдоль которой размещены точки, соответствующие образцам. Одна из сил направлена вертикально вверх и отображает действие процессов аутометасоматоза, другая — к правой вершине треугольника по медиане. Эта сила отображает действие процессов наложенного метаморфизма, и в ходе онтогенеза залежи она все более возрастает, постепенно вытесняя вертикальную силу — процессы аутометасоматоза. Это вытеснение отвечает угасанию активности рудогенерирующей системы и происходит в пределах центрального треугольника № 3. Далее в ходе онтогенеза колчеданной залежи сингенетические факторы вытесняются наложенными эпигенетическими трансформациями (стрелка 3). Стрелка 4 соответствует завершению онтогенетического цикла пирита. Это означает, что пириты из образцов, отображаемых точками, попавшими в правый треугольник, в результате воздействия факторов локального метаморфизма приобрели высокую твердость и даже на минералогическом уровне полностью утратили признаки первичной генетической принадлежности. Конвер-

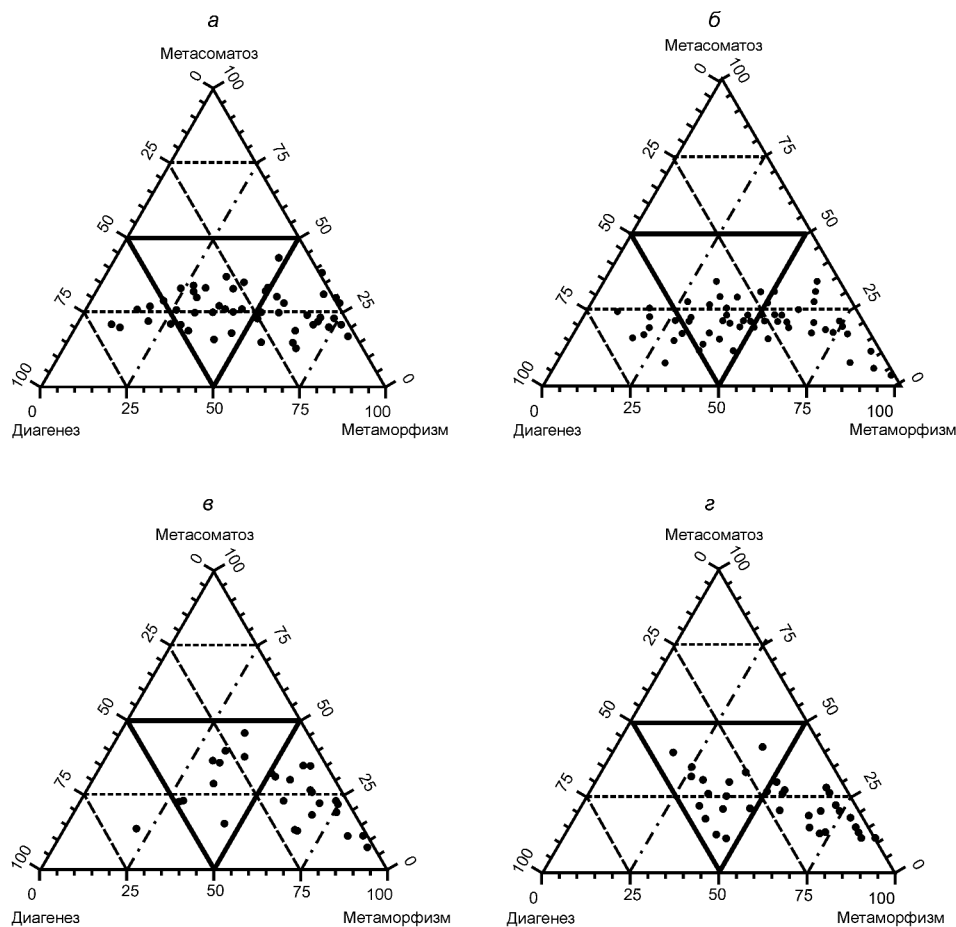


Рис. 3. Генетические диаграммы микротвердости пиритов различных месторождений колчеданного семейства:

а — Джусинское, Южный Урал, *б* — Барсучий Лог, Южный Урал, *в* — Урупское, Северный Кавказ, *г* — Орское, Южный Урал

гентность руд, соответствующая энтропии и обратная информативности, господствует и на микроуровне. В целом траектория, обозначенная стрелками, отражает энтропийный характер утраты информации, выражающийся в росте средних значений микротвердости пиритов при уменьшении дисперсии этого показателя.

На рис. 3 приведены генетические диаграммы микротвердости пиритов колчеданных объектов Северного Кавказа и Южного Урала. Сходство сводных диаграмм объектов *а* и *б*, объясняется тем, что рудные сечения, по которым была проанализирована микротвердость, представляют собой наиболее полные разрезы исследуемых месторождений, отражающие закономерную смену генетичес-

ких типов руд, встречающихся на объекте. Это эталонные скважины, по которым можно судить о зональном строении месторождения. На минералофизическом уровне (сходство формы «облаков» точек-образцов) установлена генетическая аналогия месторождений Джусинское и Барсучий Лог. Руды Урупского месторождения изучены также в эталонном сечении; они претерпели более интенсивное воздействие эпигенетических факторов, поэтому малый треугольник № 1 практически пуст (см. рис. 3, *в*). Руды Урупского месторождения, будучи первично гидротермально-осадочными, к концу онтогенетического цикла были достаточно изменены, и генетический спектр урупских пиритов смещен в сторону метаморфизма. Еще более «урезанный» ге-

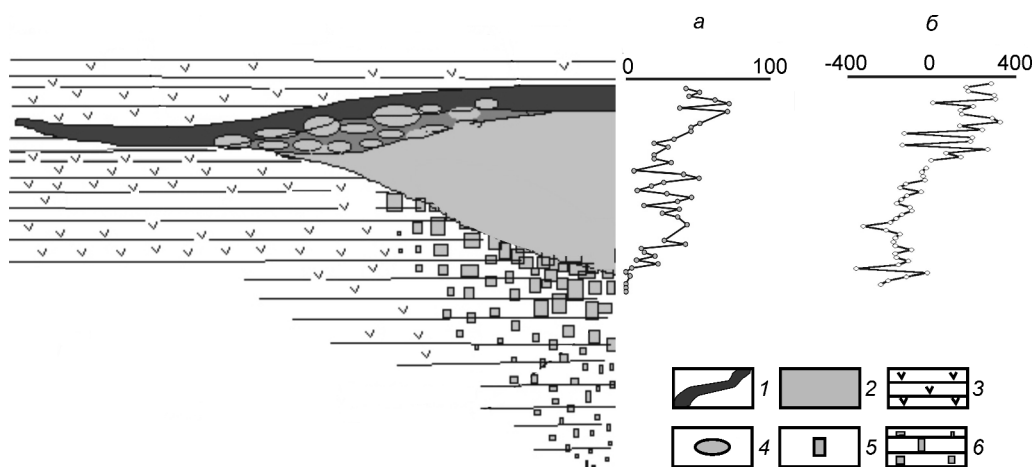


Рис. 4. Схема минералофизической зональности колчеданной рудной залежи, Джусинское месторождение (Южный Урал):

a — развитие осадочно-диагенетической пиритной минерализации, *б* — изменение суммарного коэффициента термо-э.д.с., мкВ/°С; 1 — кремнисто-оксидно-сульфидные руды; 2 — сплошные медноколчеданные и колчеданные руды; 3 — вулканиты среднего и основного состава; 4 — рудокласты; 5 — вкрапленная пиритизация; 6 — зона подрудного метасоматоза

нетический спектр наблюдается для типов пирита Орского месторождения (см. рис. 3, *з*).

Характер зональности вышеперечисленных месторождений изучен по известным методикам (Н.В.Петровская, С.И.Лебедева). Из четырех объектов выделяется разрез Орского гидротермально-осадочного полигенного месторождения, на котором скважинами вскрыта опрокинутая залежь, бывшая ранее «верхней» частью разреза (см. рис. 3, *з*).

Она подверглась воздействию наложенного метаморфизма и лишилась существенной части признаков первичной гидротермально-осадочной генетической принадлежности.

Месторождения Джусинское, Урупское и Барсучий Лог демонстрируют ярко выраженную прямую минералофизическую зональность, свойственную нормально залегающим рудным телам (рис. 4).

На минералофизическом уровне зональность выражается в деградации (по направлению от кровли залежи к ее подошве) осадочно-диагенетического типа пирита (тип 0+тип 1, точечный пик) и развитии метаморфогенного (тип 4+тип 5, сплошная линия). Процессы автобластеза и метасоматоза (тип 2+тип 3, пик) развиты равномерно по всему рудному сечению. Опрокинутое залегание залежи иллюстрируется сравнением с вертикальной минералофизической зональностью Орского рудного разреза (рис. 5). Обратный характер минералофизической зональности Орского месторождения фиксируется по минералофизическому градиенту развития пиритов гидротермально-осадочного генезиса, имеющему противоположный знак по сравнению с градиентами в пределах трех предыдущих объектов (см. рис. 5). Такая картина объясняется опрокинутым залеганием рудного тела.

В заключение отметим следующее.

Генетическая типизация оруденения по микротвердости пиритов (пиритометрия) с использованием количественного выражения степени метаморфизма руд позволяет производить генетическую разбраков-



Рис. 5. Обратная минералофизическая зональность Орского месторождения, Южный Урал

ку колчеданопроявлений, сводя тем самым к минимуму конвергентность колчеданных руд.

Применение минералофизических методов исследования для выявления скрытой внутрирудной зональности дает возможность на параметрическом уровне получать представления о структурных позициях рудных объектов, что существенно облегчает локальный прогноз латентного оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богуш И.А.* Генетические типы и онтогенез дисульфидов железа колчеданной формации Северного Кавказа // Проблемы онтогении минералов Л., 1985. С. 67–71.
2. *Богуш И.А., Бурцев А.А.* Онтогенический атлас морфогенетических микроструктур колчеданных руд. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2004.
3. *Кривцов А.И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М.: Недра, 1983.
4. *Месторождения колчеданного семейства.* Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, О.В.Минина, А.Г.Волчков и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
5. *Cambel, Jarkowsky J.* Geochemie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslowakei. – Bratislava, 1967.