

УДК 549.324.3 + 548.574

## К ОНТОГЕНИИ СПИРАЛЬНОРАСЩЕПЛЕННЫХ КУБООКТАЭДРИЧЕСКИХ БЛОК-КРИСТАЛЛОВ ПИРИТА ИЗ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ

*Ю.М.Дымков**Всероссийский НИИ химической технологии, Москва, geolog@vniiht.ru**В.А.Слётов**Москва, vikslyotov@mail.ru**В.Н.Филиппов**Институт геологии Коми научного центра РАН, Сыктывкар, institute@geo.komi.ru*

Приведено описание морфологии и текстуры кубооктаэдрических расщепленных кристаллов пирита со спиральными розетками субиндивидов на октаэдрических гранях. Предполагается, что такие блоккристаллы образовались вокруг аксиальноскрученных кубических зародышей и сами являются зародышевыми центрами сферокристаллов.

В статье 9 рисунков и список литературы из 16 названий.

Выходящие на гранную поверхность мозаичных кристаллов пирита блоки разного уровня (порядка) покрыты собственными гранями, что привело к неповторимым скульптурным деталям поверхности, отражающим внутреннее строение кристаллов, особенно, его внешних зон. В заметке на основе базовых онтогенических работ Д.П.Григорьева (1909–2003) и его учеников и последователей (Н.П.Юшкина, А.Г.Жабина, В.А.Попова, В.И.Павлишина и других) кратко обсуждается генетическая информация, полученная при расшифровке морфологических наблюдений и их графического изображения. Кристаллы пирита исследовались под стереомикроскопом и сканирующим электронным микроскопом, аншлифы – на микроскопе отраженного света «Neophot», имеющем приспособления для фотографирования при малых увеличениях. Физические и химические исследования не проводились.

Образцы изученного пирита взяты на Михайловском карьере одного из месторождений Курской Магнитной Аномалии (КМА). Рудная толща представляла собой сильно метаморфизованные железистые кварциты докембрийского возраста, залегающие на глубине около ста метров. Основной рудный минерал – магнетит; в состав руд входят также гематит, кварц, хлориты, зелёная гидрослюда селадонит, изредка мектакристаллы пирита. На железистых кварцитах залегают юрские глины, сменяющиеся на отдельных участках известняками, покрытыми меловыми глинами и песками. Юрские глины местами сильно пиритизированы. Поскольку окисляющийся пирит создает активную сернокислотную среду,

под такими участками верхняя часть железистых кварцитов преобразована в скопления так называемой «железистой сметаны» – сплошные массы рассыпчатого тонкокристаллического гематита и кварцевой пудры.

Многометровые участки (блоки) зоны окисления сложены кавернозным лимонитом и локализованы в местах контакта железистых кварцитов с известняками и особенно вдоль тройной границы железистые кварциты – известняки – глины. Пустоты в лимонитах многочисленны, размер их может достигать десятков сантиметров и более. Большинство таких пустот интенсивно минерализовано пиритом, сидеритом и в непосредственной близости известняка – кальцитом.

Вторичная минерализация наблюдается также в трещинах верхних слоев железистых кварцитов, затронутых окислением.

Сидерит в пустотах нарастает на лимонит в виде щеток и разобренных мелких (1–2 мм) кристаллов призматического или ромбоэдрического габитуса, а также в виде сферокристаллических корок с диаметром сферокристаллов 3–5 мм в различной стадии расщепления. Пирит, в основном кубооктаэдрический, встречается в виде обособленных кристаллов, в виде кристаллических корок, покрывающих частично или полностью стенки полостей, образует псевдолактиты, обростающая мембранные нити оксидов железа.

Встречены дендритные кристаллы, а также необычные для пирита трубчатые и пузырьчатые формы, описанные Б.З.Кантором (1997) и одним из авторов (Слётов, Макаренко, 2002. См. рис.15-17 в альбоме). Как



РИС.1. Блоккристаллы пирита на почковидной сферокристаллической корке сидерита. Фото напыленного оксидом магния образца на приборе ФМН-2 (ЛОМО). Ребро грани октаэдра — 4 мм

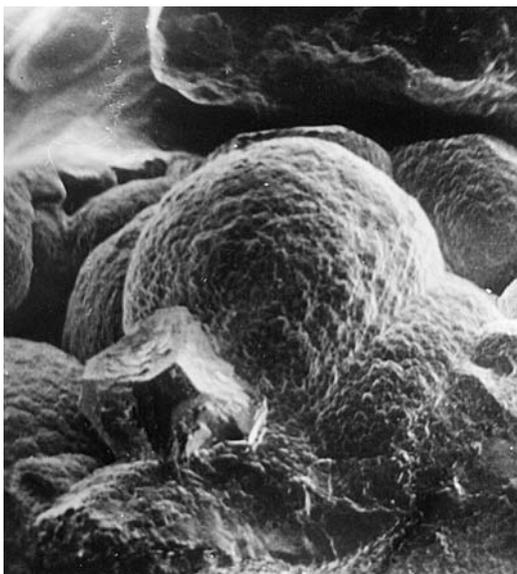


РИС. 2. Сферокристаллическая почка сидерита с блоккристаллом пирита. СЭМ-снимок в рассеянных электронах. Напыление алюминием. Ребро куба — 0,2 мм



РИС.3. Скелетные формы блоккристаллов пирита октаэдрического габитуса на сферокристаллической корке сидерита. СЭМ-снимок в рассеянных электронах. Ребро октаэдра — 1,2 мм

правило, в каждой крупной полости морфология агрегатов пирита имеет свою особую специфику.

В одной из крупных щелевидных полостей, длиною около метра, а также в небольших полостях, находящихся рядом, в лимоните были обнаружены многочисленные кристаллы пирита с признаками спирального расщепления субиндивидов (рис. 1), размером до 5 — 6 мм. Они нарастали группами или обособленно на сплошную сферокристаллическую корку сидерита, целиком покрывавшую стенки полости, и сами рассматриваются как своеобразные зародышевые формы сферокристаллов пирита.

Согласно Б.Попову (В.Рорoff, 1934), к сферокристаллам относятся радиально-лучистые сферические индивиды, образовавшиеся при разрастании расщепляющихся кристаллов. На сидеритовой корке неоднократно встречались кристаллические формы сидерита, соответствующие различным ступеням образования сферокристаллов. Как это показано А.В.Шубниковым (1957) математически в общем виде, А.А.Годовиковым (1961) — для кальцита и одним из авторов (Дымков, 1984) — для настурана, зародышевые формы сферокристаллов резко отличаются от «зрелых» форм — идеальных шаров с гладкой или микробугристой поверхностью (рис.2).

Почти все кристаллы пирита имеют кубооктаэдрический и редко — октаэдрический габитус (рис.3). По мере увеличения размеров кристалла увеличиваются размеры граней куба, однако, формы, близкие к правильным кубооктаэдрам, редки (рис. 4). Одиночные сферолиты (точнее, сферокристаллы) пирита, покрытые гранями куба, не наблюдались, однако, они иногда встречаются в виде сростков в почковидных сферолитовых корках (рис.5).

Ребро идеального нерасщепленного октаэдра с гладкими блестящими гранями достигает 0,3 — 1 мм, но скорее всего, это кристаллы второй генерации. В более крупных кристаллах в центре граней октаэдра наблюдаются зародыши пластинчатых розеток, которые при дальнейшем росте кристалла постепенно разрастается почти на всю поверхность октаэдрической грани (см. рис.3). Практически на всех октаэдрических блоккристаллах вершины притуплены блестящими гранями куба. Крупные расщепленные октаэдры с ничтожно развитыми гранями куба на вершинах имеют вогнутые субрадиальные пластинчатые розетки, разросшиеся от центра иногда во всю грань

октаэдра (см. рис. 3, а также рис. 27 и 28, Слётов, 2001), и соответственно, вогнутые тонкопластинчатые ребра, между ними (скелетный рост). Розетки, судя по выступающей части, имеют пластинчатую форму, но текстура их точно не определена. Выступающие «пластинчатые» субиндивиды розеток заметно скручены на разных гранях октаэдров в противоположные стороны.

Скелетные блоккристаллы октаэдрического габитуса достигают ~1,3 мм, кубооктаэдрические обычно в три-четыре раза крупнее и скелетные октаэдры можно рассматривать как промежуточные формы расщепления кубооктаэдров. «Кубооктаэдрические» формы – октаэдры с существенным развитием граней куба – достигают 5 мм в ребре; субиндивиды, клиновидно разрастающиеся из центра грани октаэдра, также заканчиваются гранями куба. Соединяясь вдоль ребер октаэдра, они образуют ребристые (пластинчатые) слабо вогнутые поверхности (расщепленные ребра), соответствующие положению граней ромбододекаэдра. Вершины октаэдра могут вытягиваться и в начальной стадии образования форм кубооктаэдрического габитуса, что может рассматриваться как скелетный рост.

Детальные картины морфологии гранной поверхности кубооктаэдрических блоккристаллов со спирально скрученными пирамидами нарастания граней октаэдра приведены на рис. 6. Дополнительные графические материалы, опубликованные в работах В.А. Слётова и В.С. Макаренко (2001, 2002), дают в целом полное представление о природных «скульптурнодекорированных» кристаллизационных шедеврах.

Промежуточные «переходные» формы между сферокристаллическими шарами и кубооктаэдрами имеют гипертрофированные грани (100), образующие выпуклые ряды ступенек вдоль направлений, соответствующих ребрам куба. При этом октаэдрические грани основного индивида постепенно становятся более выпуклыми и покрываются сплошь мелкими квадратными гранями лучисто расщепленных субиндивидов. В подобных формах на покрытых (заросших) субиндивидами гранях октаэдра остаются на каждой грани по три прямолинейных шва в виде мелких ступенчатых или более грубых борозд (рис. 1 и 5). В итоге осуществляется переход от скелетной формы октаэдра с ничтожным развитием граней куба, к антискелетным формам – выпуклым округлым октаэдрическим сферокристал-

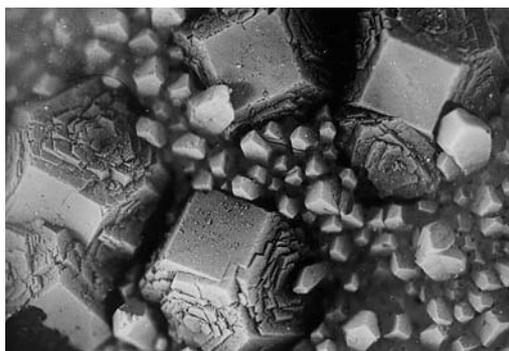


РИС.4. Блоккристаллы пирита кубооктаэдрического габитуса, частично обросшие кристаллической щеткой кальцита. Фото напыленного оксидом магния образца на приборе ФМН-2(ЛОМО). Ребро куба – 2,5 мм



РИС.5. Переход расщепленного кубооктаэдра пирита в сферокристалл : антискелетные формы а начальная стадия образования шара. Фото напыленного оксидом магния образца на приборе ФМН-2(ЛОМО). Увеличение x10



РИС.6. Спиральнорасщепленный блоккристалл пирита; вид граней октаэдра. Зарисовка В.А.Слётова и В.С.Макаренко

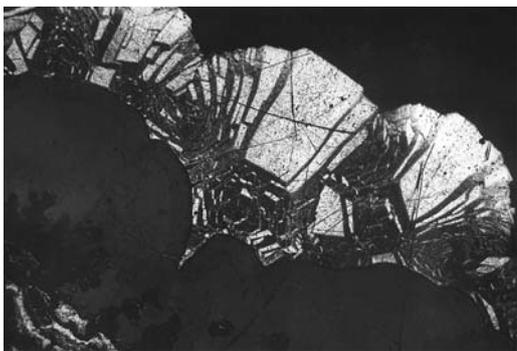


РИС.7. Текстура грузовых корок расщепленных блоккристаллов кубооктаэдрического пирита-I на сидерите, выявленная по анизотропии травления различных срезов его кристаллов. Микрофото шлифа после травления азотной кислотой. Толщина корки 5-6 мм

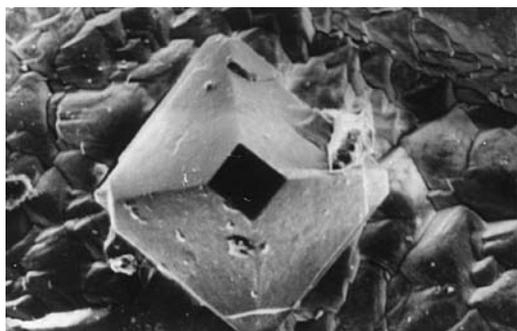


РИС.8. Кристалл пирита-II на поверхности щеток сидерита. СЭМ-снимок в рассеянных электронах. Наньелле алюминия. Ребро октаэдра 0,07 мм

лам, целиком покрытым квадратными гранями куба (рис. 5).

Полированные срезы блоккристаллов пирита, протравленные концентрированной азотной кислотой, выявили резкую анизотропию травления их субиндивидов (рис.7). Срезы, субпараллельные граням куба (или это срезы субиндивидов кубических граней?), практически не травятся; срезы октаэдрических пирамид нарастания, особенно по ромбододекаэдру (вдоль ребер октаэдра), протравливаются интенсивно и показывают радиальнолучистое расщепление. Образующийся текстурный рисунок выглядит трехмерным, объемным. Разобраться в текстуре расщепленного блоккристалла помогает несколько необычный скол в плоскости куба. В квадратных контурах скола (2,5 x 2,5 мм) с довольно ровной поверхностью от точечного зародыша в центре в углы квадрата идут четыре плавно расширяющихся радиально-лучистых пучка. Это — предполо-

жительно поперечный срез пластинчатых розеток на гранях октаэдра. Не понятно только, почему один угол квадратного контура срезан и слабо закруглен, но практически соответствует срезу пирамиды нарастания грани ромбододекаэдра. Остальные радиальные пучки упираются в прямые углы скола. В промежутках между пучками заметны признаки пластинчатого строения и ориентация пластинчатых субиндивидов параллельно радиальным пучкам.

Как показывают протравленные полированные срезы, скульптура кристаллов пирита отражает внутреннее строение (текстуру) блоккристаллов: каждый субиндивид имеет на поверхности свою вершину и соответствующее ограничение. Исключение представляют скопления блоккристаллов в участках, где формировалась вторая генерация пирита — пирит-II. Известные здесь две генерации пирита, одновременно могут рассматриваться и как «зарождения», по определению Д.П.Григорьева (1949).

Пирит второй генерации (пирит-II) осаждается в виде мелких октаэдров или кубооктаэдров (рис.8), эпитаксически выросших на грани октаэдра пирита-I, и одновременно зарастает кубические грани на вершинах пластинчатых субиндивидов (рис.9). Происходит своего рода регенерация внешних субиндивидов блоккристаллов пирита-I. Грани куба, венчающие вершины основных расщепленных кубооктаэдров пирита-I, зарастают неполностью: появляется лишь новый слой, ограниченный с боков гранями октаэдра (рис.9).

Кристаллы пирита-II не несут признаков расщепления. Это мелкие (сотые и десятые доли миллиметра в ребре) самостоятельные индивиды — октаэдры и кубооктаэдры — с гладкими блестящими гранями, эпитаксически выросшие на октаэдрические грани пирита-I. Возможно, зародышевые центры кубооктаэдрических кристаллов пирита-II имели первоначально форму плоскогранного куба, без винтовых дислокаций, но в кубооктаэдрах пирита-II грань (100) вырождается. На это указывает тот факт, что одновременно с образованием мелких самостоятельных кристаллов на октаэдрах пирита-I, головки пластинчатых субиндивидов, покрытые гранями куба, вырождаются и приобретают октаэдрический облик (рис.9).

Рассмотрим генетические особенности охарактеризованных здесь расщепленных кристаллов пирита. Прежде всего, спирально расщепленные блоккристаллы пирита не уникальны. Аналогичные кубооктаэдрические

кие расщепленные кристаллы пирита обнаружены в коллекции О.П.Иванова на кристалле халькопирита из оловорудного месторождения Эге-Хия в Якутии и детально изучены кристаллографически с применением гониометрии и СЭМ М.И.Новгородовой (1977). Для нас представляет интерес ее указание об аналогичном спиральном расположении блочных субиндивидов на гранях октаэдра и противоположные направления закручивания спиралей. Вместе с тем автор статьи считает, что «...несмотря на то, что кристаллы пирита могут быть квалифицированы как расщепленные, форма и расположение блоков не подчиняется известной схеме Фронделя, установленной для их разновидности, аксиально скрученных в направлениях тройных осей симметрии» (с.100).

Используя онтогенетический подход, попробуем понять, каков мог быть зародыш кубооктаэдра. Как отмечалось выше, при возобновлении сульфидного минералообразования отчетливо проявилась тенденция смены кристаллографических форм  $\{100\}$  и  $\{111\}$ , и если допустить, что в кубооктаэдрических кристаллах зародышами были аксиально скрученные кубические кристаллы, охарактеризованные К.Фронделем (1936) и С.А.Бородиным (1961), то всё встанет на свои места. Структурная память о винтовой дислокации в кристаллах зародышевого кубического кристалла по кристаллографической оси третьего порядка — основная причина расщепления и образования розеток субиндивидов на гранях октаэдра. Направления их вращения целиком соответствуют данным К.Фронделя (Frondel, 1936). Различные варианты аксиально скрученных кристаллов пирита приведены также в работах Ф. Бернауера (Bernauer, 1929), А.С.Бородина (1961, 1971), М.И.Новгородовой (1977) и в «Онтогении минералов» Д.П.Григорьева и А.Г.Жабина (1975).

В заключение отметим, что скрученные и расщепленные пириты, по данным С.А.Бородина (1971), служат индикатором низких температур и давлений минералообразования.

## Выводы

1. Изученные расщепленные кубооктаэдры пирита представляют собой блоккристаллы, октаэдрические пирамиды нарастания в которых характеризуются радиально-спиральным расщеплением.

2. Установлена резкая анизотропия структурного травления пирита, вскрывающая

при воздействии концентрированной азотной кислотой текстуру блоккристаллов. Деформации или дефектность кристаллических решеток субиндивидов в скрученных блоккристаллах пирита зависят от принадлежности их к пирамидам нарастания  $\langle 100 \rangle$  (не травятся) или к насыщенным дефектами —  $\langle 111 \rangle$  (травятся), а также (в деталях) от принадлежности к пиритам первой или второй (бездефектной) генерации. Какую-то роль, возможно, играла кристаллографическая ориентация среза. Полированные срезы в плоскостях, близких кубическим  $\sim \parallel (100)$ , по-видимому, практически не протравливаются, в то время как иные, более дефектные субоктаэдрические плоскости  $\sim \parallel (111)$ , протравливаются интенсивно. Предполагаемая причина: закономерные деформации и дефектация кристаллической решетки пирита в процессе роста.

3. Скульптурные элементы октаэдрических граней определяются ограничением внешних частей блоков субиндивидов и эпитактическим нарастанием плоскогранных кристаллов пирита поздних зароджений.

4. По своей природе охарактеризованные блоккристаллы пирита октаэдрическо-

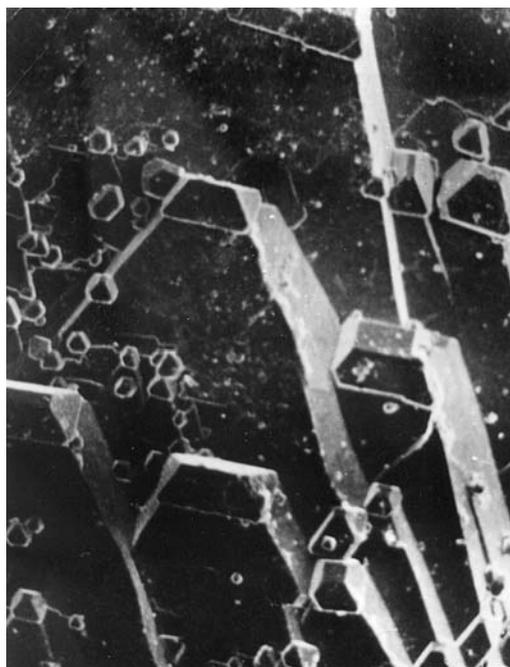


Рис.9. Кристаллы пирита-II, эпитактически выросшие на грань октаэдра пирита-I, и зарастание граней куба в вершинах октаэдра и «присыпок». СЭМ-снимок в рассеянных электронах. Напыление алюминием. Размер кристаллов в присыпках  $\sim 0,04$  мм

го и кубооктаэдрического габитусов представляют собой мономинеральные спирально-расщепленные текстурно-гетерогенные индивиды, являющиеся промежуточной формой развития сферокристалла в виде шара, целиком покрытого квадратными гранями куба.

5. Предполагается, что образование блоккристаллов пирита связано с разрастанием их вокруг аксиально-скрученных кубических зародышей при смене форм  $\{100\} \rightarrow \{111\}$ .

6. Скрученные кубоиды — зародыши пирита — существовали лишь в начале сульфидного минералообразования на данном объекте. Более поздние генерации пирита, в том числе образующие автоэпитаксическое нарастание на гранях блоккристаллов, характеризуются идеально гладкими блестящими гранями без следов расщепления и скручивания.

7. Рассмотренные здесь пириты из КМА — яркий пример одновременного совместного роста в одном кристалле пирамид нарастания дислокационно деформированных октаэдрических и практически бездефектных кубических граней.

Авторы признательны сотруднику Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана РАН Генералову Михаилу Евгеньевичу за ценные критические замечания.

## Литература

- Бородин С.А.* -О скрученных пиритах из Калангуй // ЗВМО. **1961**. Ч. 90. Вып. 5. С. 578-585.
- Бородин С.А.* Скрученные и мозаичные кристаллы пирита как индикатор температуры образования гидротермальных месторождений // Геохимия гидротермального рудообразования. М.: Наука. **1971**. С. 91-104.
- Гоговиков А.А.* О кальците из карьера у деревни Амерово Московской области // Труды минерал. музея им.А.Е.Ферсмана АН СССР. М.: Наука, **1961**. Вып.12. С. 177-181.
- Григорьев Д.П.* Генерации и зарождения минералов // Минерал. Сб. Львовск. геол. об-ва. **1949**. № 3.
- Григорьев Д.П., Жабин А.Г.* Онтогенез минералов. Индивиды. М.: Наука, **1975**. 339 с.
- Дымков Ю.М.* Механизм расщепления кристаллов кубической сингонии с образованием сферокристаллов (уранинитанастуран) // Минералогический журнал. **1984**. № 1. С. 53-64.
- Кантор Б.З.* Беседы о минералах. М.: Астрель, **1997**. 135 с.
- Новгородова М.И.* Случай эпитаксического нарастания кристалла пирита на халькопирит // ЗВМО. **1977**. Ч. 106. Вып. 1. С. 99-102.
- Слётов В.А.* Рисуя минералы // Среди минералов. Альманах-**2001**. М.: Изд-во Минералогического музея РАН им. А.Е. Ферсмана. С. 154-182.
- Слётов В., Макаренко В.* Рисуя минералы. М.: Ассоциация «Экост», **2001**. 24 рис.
- Слётов В., Макаренко В.* Рисуя минералы. Онтогенез минералов в рисунках. Вып. II. М.:Ассоциация «Экост», **2002**. 32 рис.
- Шубников А.В.* Об образовании сферолитов // Кристаллография, **1957**. Т.2. Вып. 3. С. 424-427.
- Шубников А.В.* О зародышевых формах сферолитов // Кристаллография, **1957**. Т.2. Вып. 5. С. 584-589.
- Bernauer F.* «Gedrillte» Cristalle. Berlin: «Gebr. Bontralger», **1929**.
- Frondel C.* Twisted crystals of pyrite and smoky quartz // Amer. Mus. Novitates. **1936**. N 829.
- Popoff B.* Spharolithenbau und strahlungs kristallisation // Latv. Farm. Zurn. Riga, **1934**. 48 s.