

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ
АРМЯНСКОЙ ССР ПО ВЫСШЕМУ И СРЕДНЕМУ
СПЕЦИАЛЬНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

А. А. АВАКЯН

**ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА ПИРИТА ИЗ
ГЛАВНЕЙШИХ ТИПОВ СУЛЬФИДНЫХ РУД
АРМЯНСКОЙ ССР**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата геолого-минералогических наук

ЕРЕВАН—1965 г.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ
АРМЯНСКОЙ ССР ПО ВЫСШЕМУ И СРЕДНЕМУ
СПЕЦИАЛЬНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

А. А. АВАКЯН

669

ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА ПИРИТА ИЗ
ГЛАВНЕЙШИХ ТИПОВ СУЛЬФИДНЫХ РУД
АРМЯНСКОЙ ССР

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата геолого-минералогических наук

ЕРЕВАН—1965 г.



Ереванский Государственный университет направляет Вам автореферат диссертации тов. А. А. Авакяна на тему: «Типоморфные свойства пирита из главнейших типов сульфидных руд Армянской ССР», представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация выполнена при Институте геологических наук АН Армянской ССР.

Защита диссертации назначена 1965 г.

Автореферат разослан 1965 г.

Ваши отзывы и замечания по автореферату просим прислать по адресу: Ереван—49, Мравяна—1, Ереванский Государственный университет.

Ученый секретарь Совета ЕГУ (Г. М. МНАЦАКАНЯН)

На территории Армении широко развиты сульфидные руды, представляющие основное богатство недр республики— крупные месторождения молибдена, меди, свинца и цинка. Вопросы генезиса этих месторождений до сих пор продолжают оставаться предметом детальных исследований.

Целью предлагаемой диссертационной работы является сравнительное изучение типоморфных свойств, широко распространенного в указанных рудах пирита, играющих важную роль в решении генетических вопросов.

В качестве объекта исследования выбраны пириты из наиболее распространенных и практически важных типов сульфидных руд Армении—серно—и медноколчеданных руд Шамлугского и Кафанского месторождения и генетически связанных с ними полиметаллических руд Ахтальского месторождения, полиметаллических руд Газминского, медно-молибденовых руд Анкаванского и Каджаранского месторождений.

Несмотря на большое число обстоятельных работ по различным вопросам рудообразования, руды Армении в этом отношении исследованы недостаточно, специальные работы по этому вопросу не проводились вовсе.

Данная работа состоит из введения (стр. 1—3), очерка о истории возникновения и развития понятий и терминов «типоморфный минерал» и «типоморфное свойство» (стр. 4—6) и следующих глав:

гл. I. Краткая геологическая характеристика районов месторождения (стр. 7—14). Гл. II. Внутреннее строение пирита как индикатор процессов его образования (стр. 15—50). Гл. III. Ход процесса отложения пирита по внутреннему строению его индивидов и агрегатов (стр. 51—101). Гл. IV. Морфология кристаллов пирита (стр. 102—150). Гл. V. Закономерности распределения изоморфных примесей в пирите (стр. 151—186). Гл. VI. Тведость пирита (стр. 187—198). Заканчивается работа общими выводами и рекомендациями (стр. 109—202).

Работа написана на основании проведенного автором изучения около 600 протравленных полированных шлифов, штуфов, и ориентированно-полированных кристаллов, бинокулярного осмотра свыше 2—х тыс. кристаллов, из которых более 100 на кафедре кристаллографии ЛГИ подвергнуты гониометрическому исследованию, более 200 приближенных количественных спектральных анализов, проведенных в спектральной лаборатории ИГН АН Арм. ССР при участии автора; измерений на микротвердомере ПМТ—3 твердости кристаллов на их гранях и полированных поверхностях. Указанный материал является результатом обработки полевых сборов в течение 1961—1964 гг.

В процессе выполнения работы большую помощь оказал зав. кафедрой минералогии ЛГИ проф. Д. П. Григорьев, которому автор выражает глубокую благодарность.

Наряду со сжатым описанием геологического строения районов месторождения, в основном по литературным данным, приводятся данные по геологии исследованных месторождений, их место в металлогеническом районировании (по И. Г. Магакьяну), характер и основные закономерности минерализации, форма и размеры рудных тел, характер гидротермальных изменений вмещающих пород, существующие мнения относительно генезиса месторождений и связи оруденения с магматизмом.

На основе личных наблюдений и литературных данных производится интерпретация и систематизация обнаруженных нами с помощью электролитического травления полированных шлифов и кристаллов, деталей внутреннего строения пирита с целью его использования в качестве индикатора хода отложения пирита.

На исследованных месторождениях в пределах одной стадии минерализации имеются одновременно образованные индивиды пирита. Их относительное расположение в пространстве во время зарождения определяется по форме зон, а время зарождения—по числу и толщине общих зон на определенных срезах совместно выросших индивидов.

Зоны растущего кристалла, в контакте с включением отличных от него по составу, утоньшаются, огибая включение.

Такая картина, описанная Г. Г. Лемплеином для слоев роста грани кристалла, может служить критерием возрастных взаимоотношений минерала-хозяина и включения (см. ниже).

В процессе роста кристалл в зависимости от условий приобретает зональное, секториальное, мозаичное строение. При исследовании зонального строения обнаруживается большое разнообразие границ зон, представленных на срезах кристаллов в полированных шлифах в виде «зональных линий».

Толщина зональных линий заметно отличается как на разных этапах роста кристалла, так и в пределах одной зоны. Естественно, что зональные линии, будучи границей между разнородными слоями кристалла, в зависимости от условий образования на тождественных срезах, могут быть существенно различными. Изменение состава зон, т. е. переход в следующую происходит резко или постепенно. Соответственно, границы зон представлены резкими линиями или расплывшимися полосами.

Зональность первого и второго рода обнаруживают большое сходство в поведении, и последняя всегда присутствует при наличии первой, в связи с чем надо предположить, что обе зональности вызываются одной причиной—колебаниями физико-химических условий роста. Однако, зональность второго рода, видимо, обусловлена менее значительными, а потому частыми их изменениями. В связи с чем зоны второго рода более ритмичны, зональные линии—тонки.

Частое отсутствие зональности второго рода в области нарастания ребер, вершин или одной из граней, при наличии там зональности первого рода, возможно, свидетельствует о различии вызывающих их примесей.

Травлением обнаруживается различие рельефа зон. Преобладающая часть поверхности после травления приобретает низкий рельеф. Указанное строение приобретает как во время роста так и в силу более поздних изменений индивидов. В пользу первого свидетельствует различие рельефа областей нарастания вершин или ребер и пирамид нарастания граней. В некоторых случаях разнорельефными оказываются только зоны пирита позднего зарождения, нарастающие на пирит раннего зарождения с обычной зональностью. Участки с рельефом, приобретенным вследствие изменений индивидов.

имеют неправильные контуры и часто примыкают к трещинам, поверхностям совместного роста.

Секториальное строение на изученных нами кристаллах пирита выражается в различном содержании включений минералов и химической примеси в пределах различных пирамид нарастания. Количество включений пропорционально удлинению на срезе кристалла пирамид нарастания, т. е. скорости роста грани. Ребра и вершины кристалла, видимо, всилу их энергетических особенностей, имеют иные физические свойства, чем грани, в связи с чем в области нарастания их содержится значительно большее количество включений, чем в пирамидах нарастания граней. Различная способность граней поглощать примеси обнаруживается в том, что при полной тождественности зональных слоев в пределах разных пирамид нарастания, последние на срезе кристалла отделяются четкой линией, проходящей по стыку смежных слоев зоны.

Внутреннее строение и форма агрегатов зависят от особенностей слагающих его индивидов и особенностей роста самого агрегата, как минералогически цельного образования.

Разность скоростей индивидов в направлении роста агрегата, всилу которой происходит процесс геометрического отбора, создается за счет произвольной ориентировки кристаллов, обладающих анизотропией скорости роста. Отношение наименьшей и наибольшей скоростей роста в кубе составляет 1:1,7, в октаэдре 1:1,4, в пентагональном додекаэдре 1:1,18, в то время как в призмах кварца, образующих параллельно-шестоватые агрегаты, более чем 1:3. График процесса геометрического отбора в односторонне растущем агрегате произвольно ориентированных относительно ее базисной линии кубических кристаллов показывает следующее. Процесс геометрического отбора наиболее длителен и число индивидов, переживших эту стадию, наибольшее в агрегатах кристаллов кубической сингонии. Кристаллы кубической сингонии по мере возрастания обеих величин располагаются в следующем порядке: куб, октаэдр, пентагональный додекаэдр, комбинации простых форм. Этим очевидно объясняется то, что параллельно-шестоватые агрегаты минералов кубической сингонии, сами по себе очень редкие, чаще всего сложены индивидами кубической формы.

Индивиды и агрегаты пирита в процессе роста и после его прекращения испытывают физические и химические изменения.

Пирит, благодаря своим структурным особенностям, склонен испытывать хрупкие деформации. На отдельных образцах удается установить зависимость между степенью трещиноватости индивида, его размерами и механическими свойствами окружающего минерала. При одних и тех же размерах, индивиды, заключенные в халькопирит, менее трещиноваты, чем заключенные в кварц. Крупные индивиды раздроблены больше, чем мелкие. Под действием давления в пирите раскрываются трещины спайности. Пирит проявляет различное сопротивление дроблению по зонам—зональное дробление. Зональное строение индивидов при дроблении не исчезает.

Частичное или полное уничтожение зон наблюдается вблизи включений поздних минералов в пирите. Естественно, что образование метакристаллов других минералов в пирите должно быть связано с изменениями физико-химических условий, при которых зональность пирита становится неустойчивой и может измениться вплоть до полного уничтожения. Таким образом частичное или полное уничтожение зон вблизи включений может служить критерием позднего образования последних. Напомним, что захваченные включения, т. е. включения ранее образованных минералов, являясь механическими препятствиями, могут лишь изгибать зоны, не уничтожая их (см. выше).

Перекристаллизация вблизи трещин, секущих индивид, выражается в полном или частичном уничтожении зон вдоль трещин, а также образовании новых неоднородных участков в индивиде. Обычно такие участки развиваются поперек трещин, имеют неправильные границы и в направлении от трещин постепенно исчезают, уступая место неизменным зонам роста. Трещины в индивиде, видимо, служат путями привноса или перераспределения вещества, вызывающего перекристаллизацию. В качестве таких путей служат также и поверхности между зонами.

На исследованных месторождениях процесс минерализации, вместе с тем отложение пирита, протекали с перерывами.

в течение которых в той или иной степени изменялись условия отложения минералов. Соответственно этому на месторождениях присутствуют одновременные образования пирита, отличные по внутреннему строению, форме и степени изменения индивидов и агрегатов.

На основании структурных взаимоотношений в парагенетических ассоциациях минералов и их типоморфных свойств устанавливается последовательность образования разновидностей пирита.

На Шамлугском месторождении наиболее ранняя разновидность пирита образует вкрапленность различной интенсивности и прожилки во вмещающих породах месторождения.

Время образования этой разновидности устанавливается лишь на основании детального изучения типоморфных свойств. Известно, что свойства индивидов (внутреннее строение, морфология кристаллов, содержание примесей) пирита одной генерации вкрест простирания рудного тела, при переходе от сплошных к вкрапленным рудам того же состава изменяются закономерно. Отсутствие в данном случае каких-либо переходов и резкое различие свойств пирита, образующего вкрапленность во вмещающей породе, и пирита, слагающего вместе с халькопиритом рудные тела, свидетельствует об их одновременном образовании. Одновременно наблюдается различие свойств вкрапленных пиритов, ассоциирующих с различными типами заведомо дорудных гидротермальных изменений. Описываемая разновидность пирита травится плохо. Обнаруживается небольшое число, обладающих высоким рельефом зон, расположенных в центре индивидов. Большая часть поверхности индивидов лишена зон и обладает более низким рельефом.

Отложение пирита медноколчеданной стадии минерализации происходило с перерывом, в течение которого завершилось выделение халькопирита. Основная масса пирита этой стадии является образованием первой генерации (вторая разновидность). Внутреннее строение пирита очень сложно. Наблюдается эволюция условий роста, приводящая от центра к периферии кристалла, к уменьшению толщины зон и образованию незональной периферии. Незональный пирит, выделяющийся в

стабильных условиях, отличается от зонального физическими свойствами, реакцией на травление, высоким рельефом. В процессе отложения пирита данной разновидности, происходит непрерывное зарождение новых индивидов. Строение одновременно отложившихся частей близко расположенных индивидов сходно. Наблюдается фациальное изменение внутреннего описываемого пирита. Пирит этой стадии претерпел дважды тектонические подвижки.

Пирит второй генерации (третья разновидность) медно-колчеданной стадии распространен мало. Образует характерные сферические и цепочечные агрегаты. Судя по числу и толщине зон (при обычной частоте смены условий роста, вызывающих зональность), процесс отложения пирита, видимо, был неинтенсивным и непродолжительным.

На Кафанском месторождении устанавливаются аналогичные разновидности пирита со сходными свойствами. Исключением является разновидность пирита, относимая исследователями месторождения к кварц-пиритовой стадии.

Разновидность пирита Ахтальского месторождения, образующая вкрапленность во вмещающих породах, по относительному времени образования аналогична пириту первой разновидности Шамлугского месторождения.

В полиметаллической стадии минерализации наблюдаются три генерации пирита. Первая генерация пирита этой стадии (вторая разновидность) представлена индивидами со сложным внутренним строением: от центра к периферии сложенными незональными и тонкозональными частями. Пирит второй генерации нарастает на описанные индивиды, часто на их обломанную поверхность. Эта разновидность пирита представлена мелкозернистыми агрегатами, в том числе натечными (почечными) и сферолитами, составленными индивидами нескольких зарождений. Кристаллизация пирита полиметаллической стадии минерализации завершается отложением пирита третьей генерации, представленным цепочечными и сферическими агрегатами, которые по форме, механизму роста, внутреннему строению, структурным соотношениям с другими минералами совершенно тождественны с теми же образованиями из Шамлугского и Кафанского месторождений. Исходя из тождествен-

ности внутреннего строения начальных и конечных продуктов отложения пирита из полиметаллических руд Ахтальского и медноколчеданных руд Шамлугского и Кафанского месторождений, можно судить о близких условиях отложения пирита из этих руд.

Индивиды пирита кварц-пиритовой стадии минерализации Газминского месторождения сложены зонами одинаковой ширины с четкими границами на всем протяжении роста индивида. В процессе роста их огранка совершенствуется—уменьшается распространение извилистых зон, число ступенек и бугров роста. Пирит полиметаллической стадии минерализации представлен двумя генерациями, в перерыве между отложениями которых отлагались сфалерит, галенит, халькопирит. Индивиды пирита первой генерации этой стадии составлены небольшим числом зон. Огранка индивидов, судя по зонам, к концу роста совершенствуется. Индивиды пирита второй генерации состоят из тонкозонального центра и незональной периферии. Пириты обеих генераций полиметаллической стадии сходны по внутреннему строению.

Пирит всех генераций обладает общим свойством—уменьшением частоты зон и совершенствованием огранки кристаллов по мере их роста. В то же время, от ранних генераций к поздним также уменьшается частота зон. Указанное свидетельствует об уменьшении концентрации вещества пирита и стабилизации физико-химических условий роста от начала к концу всего процесса отложения пирита и на этом фоне—от начала к концу отложения пирита каждой генерации. Такая же картина наблюдается и в медноколчеданных месторождениях Шамлуга и Кафана. Однако, в отличие от Газминского месторождения максимально сложные условия роста (частые колебания концентрации минералообразующего раствора, интенсивность и неравномерность питания и т. д.) наблюдались не в начальных генерациях, а в наиболее распространенной медно-колчеданной стадии минерализации.

Пирит кристаллизуется на семи из выделяемых на Каджаранском месторождении стадий минерализации. Стадии минерализации установлены на основании пересечений парагенетических ассоциаций минералов с весьма неустойчивым коли-

чественным соотношением минералов. Перерыв в отложении принимается на основании разновременности стадий минерализации, в течение которых он отлагался. Однако условия отложения пирита на главных, распространенных стадиях минерализации, судя по сходству внутреннего строения (а также морфологии, см. ниже) их индивидов, очень близки. Индивиды пирита кварц-молибденитовой, кварц-молибденит-халькопиритовой и кварц-халькопиритовой стадий минерализации составлены тонкими зонами одинаковой ширины на всем протяжении их роста. Прямые, четкие зональные линии свидетельствуют о спокойных условиях роста, одинаковых на всех указанных стадиях.

Индивиды пирита следующей, кварц-пиритовой стадии минерализации, в зависимости от условий питания составлены односторонне растущими широкими зонами (в тонких прожилках) или равномерно-развитыми зонами (в более мощных прожилках и жилах). К концу роста замечается совершенствование огранки индивидов—выпрямление извилистых зон, зарастание ступенек роста. Таким образом, из указанных четырех главных последовательных стадий минерализации, в течение которых отлагается основная масса пирита, условия роста меняются лишь на четвертой, т. е. к концу всего процесса отложения пирита.

Внутреннее строение пирита полиметаллической стадии минерализации отличается от предыдущих наибольшим отклонением зональных линий от прямолинейных.

На Анкаванском месторождении наблюдается аналогичная картина. Сходство внутреннего строения пирита главных стадий минерализации свидетельствует о тождественных условиях его образования. На этих стадиях происходит, видимо, только относительное изменение концентраций Cu , Mo , Fe , которое не отражается на внутреннем строении пирита.

Объектом исследования морфологии служили кристаллы пирита из систематически отобранных образцов руд и вмещающих пород и отдельные кристаллы из исследованных месторождений. Морфология кристаллов каждого образца, включающего в среднем 20—30 кристаллов, исследовалась отдельно и выводился общий, характерный для образца, габитус.

Габитус кристаллов рассматривался как функция относительного развития граней, ограничивающих кристалл. В качестве величины, эквивалентной относительному развитию граней, бралось процентное соотношение величин их площадей, измеренных под бинокулярной лупой с помощью окуляр-микрометра. Символы простых форм определялись на двукружном гониометре. На кристаллах пирита обнаружены следующие грани {100}, {111}, {210}, {110}, {430}, {540}, {650}, {320}, {750}, {950}, {10.7.0}, {11.5.0}, {13.5.0}, {11.6.0}, {16.5.0}, {13.10.0}, {410}, {510}, {610}, {910}, {11.1.0}, {34.25.0}, {211}, {311}, {321}, {331}. Эволюция простых форм в процессе роста кристаллов исследовалась на травленых поверхностях ориентированных срезов.

Из обнаруженных простых форм для кристаллов пирита медноколчеданной стадии минерализации Шамлугского месторождения габитусными являются только {100}, {111}, {210}, имеющие почти одинаковую частоту появления и равное относительное развитие в комбинациях. Соответственно наблюдаемые в медноколчеданной жиле № 5 Шамлугского месторождения двум пространственно обособленным морфологическим группам кристаллов наблюдаются две основные схемы эволюции простых форм в процессе роста кристаллов 1. {111} → {100} {111}, и 2. {hKO} → {100}, {111}, {hKO}.

Во второй схеме грани пентагональных додекаэдров по мере роста кристалла зарастают, уступая место граням куба и октаэдра. Одновременно одни пентагональные додекаэдры сменяются другими, стремясь к положению грани {100}. Все разнообразие габитусов кристаллов является результатом различной степени проявления этих схем. Наиболее распространенные габитусы кристаллов и эволюция простых форм в процессе роста кристаллов пирита из других рудных тел месторождения (рудная зона I, жила 7, линза 9) одинаковы, несмотря на различие морфологии и другие особенности этих тел. Кристаллы пирита первой разновидности представлены пространственно обособленными морфологическими разностями, в различной степени тяготеющими к определенным гидротермальным изменениям вмещающих пород. Преобладающий габитус кристаллов, вкрапленных во вмещающих породах жи-

лы 5, на всех горизонтах кубической. Около 20 % кристаллов усложнены гранями октаэдра, поверхность которых не превышает 0,15 части поверхности куба. С кварц-карбонатной (яшмовидной) породой пространственно связаны кристаллы, ограниченные кубом и менее 15 % кубом в комбинации с пентагональным додекаэдром. С интенсивным огипсованием (скв. 301 и 199) связаны пентагонально-додекаэдрические кристаллы.

Простые формы на кристаллах пирита из медноколчеданных руд жилы 5 рудника 7—10 Каданского месторождения имеют следующую частоту появления: {100}—38 % из всех случаев появления форм, {hKO}—31 %, {111}—29% и {hKl}—2%. Кроме куба и чрезвычайно редко, октаэдра остальные простые формы присутствуют лишь в комбинациях. Наиболее распространенная форма—куб, одновременно является наиболее развитой. На ориентированных срезах одного или разных кристаллов обнаруживаются следующие две схемы эволюции простых форм: 1. смена пентагональных додекаэдров друг другом и кубом, 2. появление и разрастание граней октаэдра.

Морфология пирита первой разновидности сходна с соответствующими образованиями из Шамлугского месторождения.

Частота появления простых форм на кристаллах пирита из полиметаллических руд Ахтальского месторождения следующая: {100}—45% {hKO}—53%, остальные грани, в том числе {111} около 2. Указанные простые формы образуют 48 % пентагонально-додекаэдрических, 35 % кубических кристаллов и 17 % комбинаций этих и остальных граней. Соотношение числа кристаллов пентагонально-додекаэдрического и кубического габитусов из общего числа кристаллов, ограниченных комбинацией {100} {hKO} равно отношению частот появления соответствующих простых форм—7:10.

Эволюция простых форм сводится к смене пентагональных додекаэдров друг другом и кубом.

Из двух схем эволюции простых форм, наблюдаемых на кристаллах из медноколчеданных руд, на кристаллах пирита из полиметаллических руд Ахтальского месторождения присутствует только одна—смена пентагон-додекаэдров кубом, чем и объясняется столь незначительное распространение гра-

ней октаэдра. По морфологии и эволюции простых форм кристаллы пирита первой разновидности сходны с аналогичным пиритом из медноколчеданных руд Шамлуга и Кафана.

Габитусными формами кристаллов пирита Газминского месторождения являются $\{100\}$ и $\{210\}$. Куб ограняет 19 % исследованных кристаллов полиметаллической и 30 % кварц-пиритовой стадии минерализации, пентагональный додекаэдр ограняет соответственно 36 % и 25 % кристаллов. Комбинации $\{100\}$, $\{210\}$ и других простых форм встречаются на 52 % кристаллов пирита полиметаллической и 45 % кварц-пиритовой стадии минерализации. Относительное развитие граней $\{100\}$ и $\{210\}$ в комбинациях в общем постоянное, на отдельных кристаллах приобретает самые различные величины. Грани $\{111\}$ и $\{110\}$ появляются исключительно редко (на 2 % кристаллов) и только в комбинациях с $\{100\}$ и $\{210\}$. В процессе роста кристаллов происходит смена пентагональных додекаэдров кубом. Грани октаэдра, судя по ориентированным срезам кристаллов, появляются в конце их роста, чем объясняется их незначительное развитие. Кристаллы кварц-пиритовой стадии минерализации по морфологии и эволюции форм сходны с кристаллами аналогичной генерации колчеданных месторождений.

Кристаллы кварц-пиритовой, кварц-халькопиритовой, кварц-халькопирит-молибденитовой стадий минерализации Анкаванского месторождения имеют однообразный габитус, обусловленный резким преобладанием куба. Частота появления куба 70—80 %, ромбододекаэдра 5—7 % и пентагонального додекаэдра 2—4 %. Последние присутствуют лишь в комбинации с кубом. Степень их развития по сравнению с кубом очень незначительна, поэтому кристаллы, ограненные комбинацией простых форм, также имеют кубический габитус. Грани октаэдра только на 50 % комбинаций $\{100\}$ и $\{111\}$ развиваются до 0,5 поверхности грани $\{100\}$, в остальных случаях составляют менее 0,1. Кристаллы зарождаются, ограненные кубом, сохраняющимся до конца роста. Грани $\{111\}$, $\{110\}$ и $\{210\}$ появляются в конце роста кристаллов.

На кристаллах пирита кварц-молибденит-халькопиритовой, кварц-пиритовой, кварц-молибденитовой стадии минерали-

зации Каджаранского месторождения обнаружены следующие простые формы: $\{100\}$, $\{111\}$, $\{110\}$, $\{221\}$. Из них габитусной является только куб, остальные присутствуют в комбинации с ним и развиты не более 0,15 его поверхности. 75 % кристаллов огранены только кубом, 15 % — комбинацией куба с октаэдром, около 5 % — комбинацией куба с $\{hKO\}$ и менее 5 % с $\{hKl\}$. Эволюция простых форм тождественна с таковой для Анкавана. Кристаллы зарождаются ограненные гранями куба, неизменно сохраняющимися до окончания роста. В исключительно редких случаях наблюдаются кристаллы, при зарождении ограненные $\{hKO\}$, которые к концу роста переходят в кубы.

Распределение изоморфных элементов примесей в пирите исследовано по данным более 200 приближенных количественных спектральных анализов.

В анализированных средних пробах пирита, составленных из большого числа кристаллов, отобранных из одного образца руды или вмещающей породы, обнаружены Si, Al, Na, K, Ca, Mg, Ti.

Распределение изоморфных примесей Ni, Co, Mn, As исследовано на основании более 200 приближенных количественных спектральных анализов. Изоморфный характер примеси установлен рентгенанализом.

Кобальт и никель содержатся почти во всех анализированных пробах пирита. В пиритах медноколчеданных руд содержание кобальта (0,003—0,04 %) и никеля (0,0—0,008 %) колеблется примерно в одинаковых пределах. Наиболее высокие содержания кобальта обнаруживаются в пиритах из медномолибденовых руд. Сравнение кривых распределения содержаний показывает, что в пирите из месторождений Газма, Анкаван и Каджаран кобальт и никель не только колеблется в широких пределах, но и содержатся в значительно большем количестве.

Предельные содержания марганца в пирите из медноколчеданных руд Шамлугского и Кафанского месторождений одинаковы и составляют 0,001—0,05 %, в пирите из полиметаллических руд Газминского, Ахтальского и медно-молибденовых руд Анкаванского и Каджаранского месторождений составляют 0,0003—0,02 %. В отношении уменьшения содержа-

ний марганца месторождения располагаются в том же порядке. Максимальные содержания мышьяка в пирите медноколчеданных руд составляют; в Шамлуге—0,1 %, в Кафане—0,05%. В пирите полиметаллических руд Газмы и Ахталы они равны и значительно больше, в пиритах медно-молибденовых месторождений значительно различаются (0,02 %—Анкаван, 0,1%—Каджаран). Характер распределения содержаний свидетельствует о большем содержании мышьяка в пирите из полиметаллических руд, чем медноколчеданных.

Таким образом в пирите из одинаковых типов руд распределение содержаний по частоте их появления и пределы колебания содержаний Ni, Cu, Mn сходны. Полиметаллические руды Ахталынского месторождения по содержанию в пирите примесей никеля, кобальта, марганца, более сходны с медноколчеданными рудами, чем с близкими по минеральному составу полиметаллическими рудами Газминского месторождения.

На каждом из исследованных месторождений, вкрапленный пирит первой разновидности имеет более высокое содержание примесей, чем пирит из руд, при меньшем интервале их колебания. Высокие содержания примесей в этой разновидности пирита можно считать результатом его кристаллизации при более высоких температурах. Большой же интервал колебания содержания, возможно, соответствует колебаниям концентрации элемента примеси в рудообразующем растворе.

Содержание примесей по простиранию рудных тел постоянно или изменяется незакономерно.

Известно, что содержание примеси в кристалле, при прочих одинаковых условиях, пропорционально объему пирамид нарастания простой формы, которой поглощается примесь. Поэтому распространенный метод сравнения содержания примесей в кристаллах различных форм недостаточен для установления связи между этими факторами. Анализированные нами кристаллы пирита, прежде всего, исследовались в отношении эволюции их морфологии. Сравнение содержаний примесей в кристаллах, находящихся в тождественных геологических условиях, с учетом эволюции их морфологии, приводит к следующим результатам. Октаэдрические кристаллы содержат

699

больше марганца и меньше никеля и кобальта, чем кубические. Наблюдается также закономерное изменение содержания примесей в кристаллах, ограненных комбинацией куба и октаэдра в зависимости от относительного развития этих форм. Кубические кристаллы, по сравнению с пентагонально-дodeкаэдрическими, содержат больше никеля и кобальта, а иногда и марганца. Кристаллы с грубой интенсивной штриховкой содержат больше примесей, чем с тождественной эволюцией формы, с гранями лишенными скульптуры. Связи содержания мышьяка с какой-либо определенной кристаллографической формой не наблюдается.

Измерения твердости осуществлялись на ориентированных и случайных срезах и на гранях кристаллов пирита. Твердость испытывалась при постоянной нагрузке на индентор микротвердомера равной 100 гр., обеспечивающей наименьшую ошибку измерений. При испытаниях учитывалось состояние поверхности кристалла, приобретенное вследствие полировки и травления. Твердость кристаллов и различных частей одного кристалла колеблется в пределах 900—1500 кг/мм². Такое колебание обусловлено различием условий роста кристаллов и их различных граней, что обнаруживается при рассмотрении внутреннего строения испытываемых кристаллов. В связи с этими кристаллы обнаруживают зональную и секториальную неоднородность твердости, перекрывающую полярную и ретикулярную анизотропии.

Ретикулярная и полярная анизотропия твердости обнаруживается на ориентированных срезах и гранях кристаллов при тождественности условий роста всех граней. Средняя твердость и наиболее частая величина твердости индивидов пирита медно-молибденовых руд Анкавана и Каджарана, выросших в спокойных условиях и содержащих больше изоморфных примесей, и разброс величины твердости меньше, чем в пиритах из медноколчеданных руд Шамлуга и Кафана. Последние характеризуются сложным внутренним строением, неравномерной шириной, извилистостью зональных линий, грубостью слоев и буграми роста.

Такая же закономерность обнаруживается при сравнении кривых распределения твердости I и II генераций пирита мед-



ноколчеданных руд как Шамлугского, так и аналогичных генераций пирита полиметаллических руд Ахтальского месторождений.

ВЫВОДЫ

1. Ход отложения пирита—число генераций и условия образования пирита аналогичных генераций—сходен для одинаковых по условиям генезиса и минеральному составу руд из различных рудных тел и месторождений. Тожественность условий образования пирита устанавливается на основании наблюдаемой тождественности его свойств: внутреннего строения, морфологии, эволюции этих свойств в процессе роста, содержания примесей и в определенных пределах твердости. Одновременно наблюдается различие комплекса перечисленных свойств различных генераций пирита, что позволяет считать их типоморфными.

2. На основании типоморфных свойств оказывается возможным определение относительного времени отложения разновидностей пирита, их место в общем процессе минерализации и уточнение условий их образования.

3. Кристаллы пирита из одинаковых по минеральному составу руд имеют сходную морфологию (частоту появления простых форм, их комбинаций, частоту появления габитусов) и эволюцию морфологии в процессе роста. Разнообразие габитусов кристаллов обусловлено различной степенью проявления, в общем, устойчивой эволюции в силу различий физико-химических условий, в отдельных частях месторождения, и рудных тел. Наиболее распространенные габитусы кристаллов пирита из медноколчеданных руд Шамлугского и Кафанского месторождений определяются почти одинаковой частотой появления и развитием $\{100\}$, $\{111\}$, $\{-10\}$. В процессе роста кристаллов происходит смена октаэдра кубом, одних пентагональных додекаэдров—другими и последних—кубом. Наиболее распространенные габитусы кристаллов пирита из полиметаллических руд Ахтальского и Газминского месторождений обусловлены почти равным развитием $\{100\}$, $\{hKO\}$ и значительную ролью (частотой появления и развитием) граней октаэдр-

ра. Кристаллы зарождаются, ограниченные пентагональными додекаэдрами, которые в процессе роста сменяются кубом.

Кристаллы пирита из медно-молибденовых руд Каджаранского и Анкаванского месторождений, в подавляющем большинстве случаев, имеют кубический габитус. В комбинации с кубом присутствуют мало развитые грани $\{111\}$, реже $\{11\bar{0}\}$. Кристаллы при зарождении и до конца роста ограничены кубом, лишь в конце его в качестве вторичных появляются грани октаэдра.

4. Распределение содержаний по частоте их появления и пределы колебания содержаний никеля, кобальта, марганца сходны в пиритах из одинаковых по условиям генезиса руд. В порядке увеличения содержания никеля, кобальта и уменьшения содержания марганца, исследованные руды располагаются следующим образом: медные и полиметаллические руды колчеданных месторождений (Шамлуг, Кафан, Ахтала), полиметаллические (Газма), медно-молибденовые (Каджаран, Анкаван).

Полиметаллические руды из Ахтальского месторождения по содержанию в пирите примесей никеля, кобальта, марганца более сходны с медноколчеданными рудами, с которыми связаны по генезису, чем с близкими по минеральному составу полиметаллическими рудами Газминского месторождения.

Содержание мышьяка, в отличие от вышеуказанного, сходно и выше в полиметаллических рудах Ахталы и Газмы.

5. Средняя твердость меньше, а вариация ее величины больше у индивидов пирита первой генерации медноколчеданных и полиметаллических руд, выросших в условиях частой и резкой смены концентраций, неравномерного и интенсивного питания, чем у пиритов из медно-молибденовых руд, выросших в более спокойных условиях.

6. На исследованных месторождениях каждой генерации пирита сопутствует отложение полезного металла. Однако, с его промышленными скоплениями локально и генетически тесно связаны лишь определенные генерации пирита. Установленные на основании типоморфных свойств, указанные генерации могут служить дополнительным, а в некоторых случаях единственным критерием для исследования закономерностей

распределения полезного металла в изученных и аналогичных им месторождениях.

На основании указанного можно утверждать, что весьма полезным может явиться при поисково—съёмочных работах картирование распространения морфологических разновидностей пирита вполне доступных выделению в полевых условиях. Для выяснения связи оруденения с магматизмом большой интерес может представить детальное исследование типоморфных свойств пирита из магматических образований рудного района и их сравнение с типоморфными свойствами пиритов из самих месторождений.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ
В СТАТЬЯХ:

1. А. А. Авакян. О внутреннем строении пирита Алавердской группы месторождений, Арм. СС. Тезисы докладов IV Закавказской конференции молод. научн. сотрудн. Геол. институтов АН Груз. Азерб. Арм. ССР., Ереван, 1963 г.
2. А. А. Авакян. О секториальном строении пирита. Тезисы докладов V Закавказской конференции молод. научн. сотрудн. Геол. институтов АН Груз., Азерб., Арм. ССР, Баку, 1964 г.
3. А. А. Авакян. О процессе геометрического отбора среди индивидов пирита. ДАН Арм. ССР, том XI № 4, 1965 г.
4. А. А. Авакян, Г. М. Мкртчян. О содержании элементов-примесей в кристаллах пирита различной морфологии. ДАН Арм. ССР, том XI, № 2, 1965 г.

ВФ 06750

Заказ 1413

Тираж 210

Госкомитет Совета Министров Арм. ССР по печати, типография № 10
Главного управления полиграфической промышленности.
Ереван, ул. Абовяна 52.

609