

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПИРИТА В УГЛЕНОСНЫХ КОМПЛЕКСАХ АРМЕНИИ

© 2007 г. Гайк П. Алоян

ЗАО "Лернаметалургияи институт"
0009, Ереван, ул. Корюна, 14, Республика Армения
E-mail: haug_a@yahoo.com
Поступила в редакцию 28.04.2007 г.

Впервые рассматриваются морфогенетические особенности пирита в угленосных комплексах Армении, т.к. он является одним из концентраторов благородных металлов. Выделяются сингенетический и эпигенетический пириты. Эпигенетический пирит представлен сочетанием различных морфометрических форм органогенных оолитовых псевдоморфоз по микробактериям, гидрогенными (гидрогенно-хемогенными) образованиями инфильтрационного (экзогенного) генезиса и в редких случаях – гидротермальными пиритовыми прожилками. В чистом виде эти генетические типы встречаются редко, преобладают смешанные типы. Полученные результаты имеют важное значение для технологических исследований.

Повышенный интерес к терригенно-угленосным отложениям Армении начал проявляться после установления их благороднометалльности и обоснования перспективности их промышленного освоения. Результаты предварительных научно-исследовательских и технологических исследований были опубликованы и получили большой резонанс (Алоян П., Алоян Г., 2003₁, 2003₂, 2003₃). Впервые угленосные отложения Армении были рассмотрены в качестве рудно-топливного сырья, и потому возникла настоятельная необходимость детального изучения минеральных компонентов углей, в особенности рудных компонентов этого перспективного вида комплексного сырья.

В настоящей статье впервые рассматривается фактический материал по морфогенетическим особенностям рудных компонентов в углях Армении, в особенности сульфидов железа, в частности железного колчедана (дисульфида железа) – пирита. Пирит в угленосных комплексах Армении является одним из основных концентраторов золота, и потому формы его проявления, имеющие генетическую основу, представляют как научный, так и практический интерес для технологических исследований. В настоящее время этот вопрос изучен относительно слабо, а угленосные отложения Армении на "колчедан" вообще не изучены. По этой тематике имеются единичные работы (Клер, Ненахова, 1981; Юровский, 1968; Шнейдерхен, 1958) общего характера, а основная литература рассматривает условия образования пирита в осадочных породах (Рамдор, 1962; Перельман, 1972; Смирнов, 1955; Угленосные формации и их генезис, 1973).

Результаты исследований показывают, что основные минеральные компоненты (примеси) в углях представлены глинистыми минералами, сульфидами железа, кварцем, карбонатами кальция и железа. В меньшем количестве встречаются халькопирит, сфалерит, галенит; редко биотит, мусковит (серицит), хлорит, а также самородное золото, серебро, медь и металлы платиновой группы. В шлихах встречаются полевые шпаты, вулканические стекла, единичные зерна апатита, циркона, сфена, эпидота и граната. В зоне окисления углей часто присутствуют гипс, лимонит, ярозит,

гиббсит, образующие как налеты вдоль трещин, редко тонкие прожилки, так и единичные обособленные агрегаты (Клер, Ненахова, 1981; Рамдор, 1962; Перельман, 1972; Смирнов, 1955; Угленосные формации и их генезис, 1973; Юровский, 1968; Шнейдерхен, 1958).

Пирит (FeS_2) в углях является постоянным минеральным компонентом угольных разрезов, при содержаниях от 1 до 20%. Пирит в углях образует конкреции различных форм (до 1 м), пластовые маломощные тела, псевдоморфозы по органическим компонентам, тонкие прожилки и налеты по плоскостям напластования и трещиноватости, а также вкрапленность в тонкорасеянном виде.

Угленосные (углеродистые) комплексы Армении представлены переслаиванием маломощных пачек бурых (редко каменных) углей, горючих сланцев, битуминозных углефицированных аргиллитов, песчаников и известняков, глинистых сланцев, реже прослоями андезитов, туффитов, туфоконгломератов и туфобрекчий. Общая мощность терригенно-угленосных и терригенно-карбонатно-угленосных комплексов сильно варьирует и составляет в среднем 60-120, редко 200 м. Они прослеживаются по простиранию на сотни метров, а в отдельных случаях – от 2-3 до 5 км. Возраст комплексов – от нижнего триаса до плиоцена (триас, юра, эоцен, олигоцен, миоцен, плиоцен). В большинстве случаев эти отложения имеют пологие падения и обнажаются на поверхности или залегают на небольшой глубине в благоприятных горно-геологических условиях, что способствует их открытой добыче. В отдельных случаях они интенсивно деформированы. Аналогичные образования "смешанного" углисто-сланцевого состава известны в Венесуэле (эоценового возраста) и Австралии (пермского возраста, Ю.Уэльс) и характерны горноскладчатым областям (Алоян П., Алоян Г., 2003₂).

Формирование металлоносных терригенно-угленосных отложений Армении происходило в условиях терригенного сноса и осаждения обломочного материала в зоне литорали с биогенными илами и их дальнейшей литофикации и катагенеза в конкретной геодинамической об-

тановке. В отличие от всемирно известных крупных благороднометалльных черносланцевых комплексов, в пределах армянских комплексов воздействие магматических и постмагматических процессов на формирование рудных минералов проявляется крайне слабо; известны единичные случаи, когда пачка углей прорывается тонкими кварцевыми прожилками или кварц-порфировыми дайками. В основном эпигенетические процессы проявлялись в зоне гипергенеза и носили инфильтрационный характер, чем и обусловлен в основном осадочно-инфильтрационный (осадочно-экзогенный) генезис некоторых минеральных образований — в частности отдельных форм эпигенетического пирита.

Пирит в терригенно-угленосных отложениях Армении имеет широкое распространение и характеризуется различными формами выделений, определяемыми генетическими условиями его образования. Обычно пирит представлен неравномерной вкрапленностью (рис. 1.1). На отдельных участках скопления пирита занимают от 0.1-0.2 до 2-3% поверхности шлифа с размерами отдельных индивидуумов от 0.007-0.01 до 0.1-0.2 мм. Часто наблюдаются отдельные крупные зерна, размерами 0.3x0.4 мм. Пирит часто встречается в виде единичных зерен неправильной, округлой, осколочной (размерами до 0.01 мм), местами удлиненной (0.01-0.04 мм), даже червеобразной (0.005x0.08 мм) формы (рис. 1.2-1.3). Образует очень мелкие вкрапления (до 0.02 мм), а местами мельчайшую сыпь в поле нерудного минерала или обломков пород (кварца, аргиллита). Характерна мелкая рассеянная вкрапленность по всей поверхности шлифа вплоть до эмульсионной сыпи. Пирит часто представлен кубическими (0.007-0.015 мм) кристалликами, иногда недоразвитыми кристаллическими образованиями с одной или двумя гранями. Кристаллы и относительно крупные выделения пирита в большинстве случаев трещиноватые. Часто густая сыпь пирита концентрируется и образует прожилкообразное шлировое выделение, мощностью от 3-4 мм до 1-2 см. Размеры отдельных вкрапленников, образующих прожилки, колеблются от субмикроскопических до 0.035 мм. Очень редко встречаются зернистые агрегаты пирита.

Пирит часто встречается в ассоциации с марказитом, халькопиритом и магнетитом в виде сростков. Марказит встречается часто, но по количеству уступает пириту. Образует игольчатые и каплевидные кристаллы, разбросанные по массе тонковкрапленного пирита. Размеры марказита в поперечнике составляют 0.004 мм, а длина кристаллов доходит до 0.1 мм (рис. 1.1). В зоне окисления пирит ассоциирует с лимонитом и гидроокислами железа; редко встречается ярозит.

Фактический материал, полученный в результате полевых работ и оптических минералогических исследований, показывает, что пирит в терригенно-угленосных отложениях Армении отличается многообразием форм выделений и бывает сингенетическим (седиментационным) и эпигенетическим. Четкое разграничение форм выделений пирита по генетическому принципу проводится впервые. В частности, как показали наши

исследования, эпигенетический пирит бывает осадочно-инфильтрационным (водородно-хемогенным) и редко гидротермальным. Осадочно-инфильтрационный пирит имеет свои характерные формы выделений и бывает водородно-хемогенным и органогенным (микробактериальным).

По мнению В.Р. Клер и В.Ф. Ненахова (1981), сульфиды железа присутствуют в углях преимущественно в виде пирита, редко марказита и имеют эпигенетическое происхождение. Приведенный в статье материал свидетельствует о том, что пирит в терригенно-угленосных отложениях Армении бывает как сингенетическим, так и эпигенетическим в зависимости от геологических условий формирования минеральных составляющих. Наиболее часто наблюдается наложение эпигенетического пирита на сингенетический.

Сингенетический пирит имеет характерные формы выделения, которые "согласно" вписываются во внутреннюю структуру терригенно-угленосных отложений. Это преимущественно окатанные, эллипсоидные или округленные агрегаты, редко по краям зазубренные. Часто наблюдается рассеянная мелкая вкрапленность или эмульсионная сыпь пирита по всему прослою угля, или в виде сгущенных шлировых выделений. Интересно отметить, что в некоторых случаях в отдельных "согласно" лежащих агрегатах (линзах до 0.015 мм) пирита при больших увеличениях прослеживается характерная внутренняя структура агрегата причудливой формы в виде скопления (нагромождения) колломорфных автономных выделений оолитов пирита на основе микробактериальных колоний (рис. 1.3). Нет сомнения, что это сингенетические образования. Характерной особенностью сингенетических выделений пирита является то, что они лежат согласно с общей внутренней структурой углей и терригенно-угленосных образований, т.е. внутренние структурные элементы пород плавно огибают их, а местами даже проникают в "разъединенные" агрегаты пирита (рис. 1.1-1.3, 1.8).

Эпигенетический пирит по способам концентрации проявляется в различных генетических типах и соответственно им — в различных морфологических формах:

1. Биогенный, образованный в результате жизнедеятельности микроорганизмов (или особых форм микрорастений) и представленный органогенными оолитообразными шаровидными псевдоморфозами пирита по микробактериям.

2. Хемогенно-водородный (водородно-хемогенный), образованный кислородо-железосодержащими грунтовыми или пластовыми водами и представленный прожилково-вкрапленными образованиями вдоль полостей трещин, часто в ассоциации с органогенными образованиями.

3. Гидротермальным, образованным в контактовых зонах даек или небольших дайкообразных тел средне-кислого состава и представленный кварц-пиритовыми будинированными тонкими прожилками с наложенными органогенными и водородно-хемогенными образованиями.

В чистом виде эти генетические типы встречаются редко и в основном, как уже отмечено

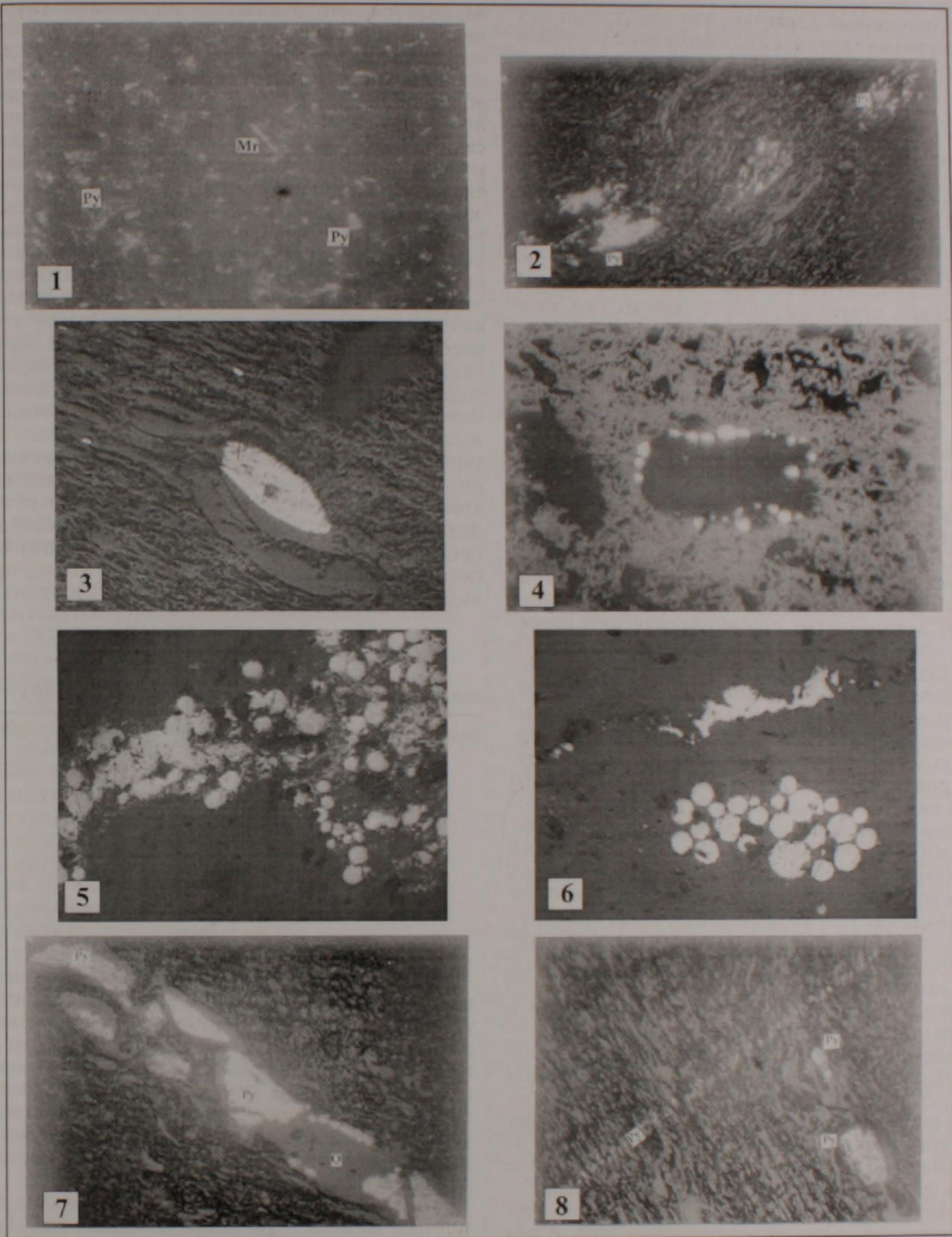


Рис.1. Пирит в терригенно-угленосных отложениях Армении

1 - Нор-Аревик. Карьер 03. Аншлиф Ар-Карьер-03. Вкрапленность пирита и игольчатые кристаллы марказита в угле. Ув 200х. Пл.3463, к 5. Антарамут. Аншлиф А-20/5-У. 2 - скопления пиритовых выделений ориентированы согласно общей структуре угля. Ув 125х. Пл 3361, к 7; 3 - массив оолитов пирита в углях, внутренняя структура углей огибает включения пирита. Ув 250х. Digital 000065, к 5. 4 - Аншлиф А-18/14-Д. Концентрация оолитов (шарообразных) пирита по периметру нерудного обломка. Ув 125х. Пл 3361, к 16. Аншлиф А-18/14-У. 5 - гроздьвидное скопление оолитов пирита по микросеробактериям. Ув 250х. Digital 000065, к 3; 6 - кучное выделение оолитов пирита по микросеробактериям. Ув 250х. Digital 000065, к 2. Аншлиф А-20/5-У. 7 - концентрация шарообразных оолитов пирита вдоль будинированного кварц-пиритового прожилка в углях. Ув 300х. Пл 3361, к 2; 8 - структура течения в углях. Два правых крупных выделения пирита расположены вдоль общей структуры. Цепочка тонких выделений ориентирована перпендикулярно структуре, но в ее пределах выделения агрегатов пирита локализованы согласно со структурой. Уникальный кадр "елочной" структуры. Ув 125х. Пл 3361, к 10.

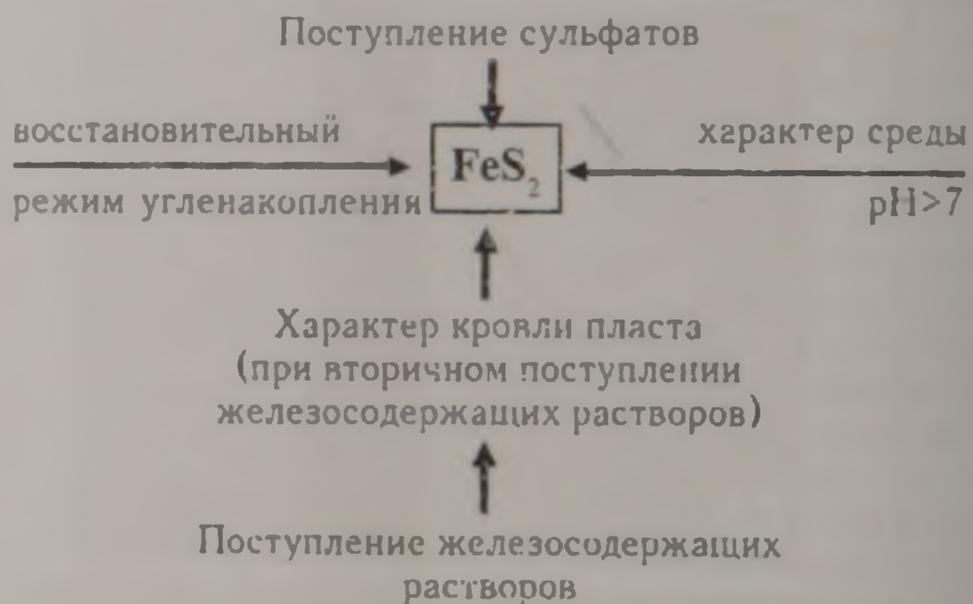
имеют смешанный характер, что для угленосных формаций является специфической особенностью.

Особый интерес среди эпигенетических пиритов в терригенно-угленосных отложениях представляют "елочные" структуры, имеющие гидрогенно-хемогенное происхождение. Они развиваются вдоль микротрещин, длиной от 2-2.5 до 10 и более миллиметров, ориентированных косо (-45°) или нормально к внутренней структуре угля. Несмотря на общий секущий характер непрерывно-прерывистой цепочки, скопления пирита (сульфидов) локализуются согласно (вдоль) внутренней структуре угля и плоскостям микросмещений (структур течения), что аналогично субпластовым мелким залежам (рис. 1.8), оставляя впечатление лежащей ели, когда ветки параллельны внутренней структуре угля, а ствол сечет под углом 45-90°. Поэтому эта уникальная структура нами названа "елочной". Часто наблюдаются две или несколько параллельных "елочных" структур.

Наиболее экзотические формы выделений образуют оолиты пирита по микробактериям (рис. 1.4-1.6). Они имеют в основном равномерную величину шариков и типичное концентрическое строение. Следует учесть, что встречаются также "псевдооолиты" с концентрическим строением. Формы выделения органогенного пирита (оолитов, шариков) многообразны. Это одиночные, цепочковидные и кучные выделения оолитов, их гроздьвидные скопления, компактная автономная многоячейная колония, ожерелья шаровидных оолитов вокруг нерудных минералов и будинированных осколков гидротермального кварц-пиритового прожилка и др. Размеры отдельных оолитов-шариков в диаметре достигают 0.012 мм. Следует отметить, что эпигенетический характер органогенных оолитов пирита очень четко устанавливается в пределах будинированных кварц-пиритовых прожилков, когда линейная или групповая концентрация оолитов происходит по периметру будин-осколков, или между ними, или вдоль растасканного гидротермального прожилка согласно общей структуре течения и самого угля (рис. 1.7). Эти оолиты пирита являются биогенными (возможно, и хемогенно-биогенными), т.е. за счет микробактерий в результате циркуляции железосодержащих водных растворов и взаимодействия с сероводородом от сульфатредуцирующих микросеробактерий. Это не гидротермальное, а органогенное-эпигенетическое пирит, наложенное на гидротермальное.

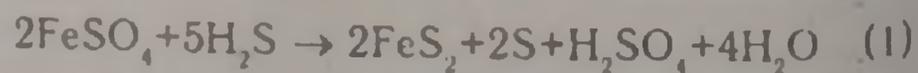
Иногда бывает очень трудно различить сингенетический оолит от эпигенетического. В осадочных породах, в отдельных случаях, по П. Рамдору, при росте из расплавов и растворов встречаются небольшие кокарды гидротермальных, а также низкотемпературных образований, "почти точно" соответствующие форме оолита, но они весьма изменчивы в размерах (Рамдор, 1962). Для пирита по микробактериям П. Рамдор применяет термин "оруденелые бактерии" или "оолитовые" и "бактериевидные" структуры и считает, что по смысловому значению они "относятся" к осадочным породам. Он здесь же ого-

варивается, что в каждом конкретном случае необходимо основательное обсуждение геологических данных и сопровождающих структур для определения условий образования оолитов и определения их осадочного или гидротермального (эпигенетического) происхождения. О роли серных бактерий в процессе образования псевдоморфоз пирита (в осадочных породах) отмечает также Г. Шнейдерхен, который подробно описывает условия образования сульфидных минералов в горных породах морского происхождения жизнедеятельностью "бактерий цикла серы" и родственных микроорганизмов (Шнейдерхен, 1958). Наиболее подробно условия образования оолитовых псевдоморфоз пирита по микросеробактериям в углях описывает А.З. Юровский. По его мнению, основная роль в воспроизводстве сероводорода из сульфатов принадлежит микробиологическим процессам, обусловленным жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий. Особо подчеркивается, что для функционирования всех без исключения видов бактерий этой категории наиболее благоприятной обстановкой является восстановительная и щелочная среда. Факторы, обуславливающие интенсивное формирование серного колчедана в углях, приводятся ниже на схеме (Юровский, 1968):



Исследования А.З. Юровского убедительно показывают, что оолитовые выделения пирита в углях являются их псевдоморфозами по бактериальным колониям. Кроме того, установлено, что существует определенная зависимость между содержанием серы в углях и характером восстановительного режима в процессе накопления угля. В первом приближении характер восстановительной среды отражает содержание кислорода в углях.

Установлено, что процесс образования сернистого железа — дисульфида железа FeS_2 (а не FeS или соединений типа пирротина $FeSn$, где $1 < n < 2$) происходит по следующей реакции в условиях щелочной или нейтральной среды (Смирнов, 1955):



По мнению А.З. Юровского, сульфид железа FeS_2 образуется в результате взаимодействия сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов с солями и гидроксидом железа в про-

цессе углеобразования, а воспроизводство сероводорода из сульфатов обусловлено жизнедеятельностью сульфатредуцирующих микросеробактерий в условиях восстановительной и щелочной среды. В сульфатредуцирующих бактериальных колониях возникают центры-ячейки (гнезда), насыщенные сероводородом, в которых, в условиях просачивания через перекрывающие породы железосодержащих растворов происходит интенсивный процесс образования FeS_2 в углях. Процесс образования FeS_2 во многом обуславливается физико-механическими параметрами пород, перекрывающих угольные пласты, т.е. литологическим составом терригенно-угленосного разреза, чем и определяется их дренажная способность для просачивания железосодержащих метеорных вод. Исследованиями показано, что песчаники и песчаные известняки по своим физико-механическим параметрам являются более водопроницаемыми породами и обеспечивают более высокую проницаемость для железосодержащих растворов, в отличие от глинистых пород, которые, насыщаясь водой, становятся водоупорными и не пропускают растворы. Этим в основном определяется степень сернистости (пиритности) подстилующих угольных слоев.

Уровень сернистости в угленосных отложениях обычно определяется содержанием в них пирита (Юровский, 1968). Однако часто сера бывает связана не только с пиритом, но и с другими сульфидами, а также карбонатами и силикатами, что при таком подходе может исказить реальную картину. Учитывая то обстоятельство, что в угленосных отложениях Армении пирит занимает главенствующую роль по сравнению с другими серосодержащими соединениями, в нашем случае искажение реальной картины не ожидается, и количество пирита в целом будет определять степень сернистости углистых образований. С этой целью в ИГЕМ РАН (г Москва) были проведены аналитические исследования по определению содержания S и Fe в пробах основных угольных месторождений Армении. По данным анализов нами произведен пересчет количества пирита, а также количества серы и железа, связанных с пиритом. Пересчет произведен с использованием пересчетных коэффициентов для расчета количества минералов по содержанию минералообразующих элементов в пробах. Результаты пересчета приводятся в табл.1. Данные табл.1 дают основание отметить следующее:

1. По содержанию пирита выделяются три группы углей и углистых сланцев, с резким преобладанием пиритной серы:

а) Содержание пирита $>5\%$, при среднем содержании 6.25% . Максимальные содержания пирита $7.3-7.35\%$. Это угли и глинистые сланцы Шамута (пробы 75,76,77) и углистый сланец Иджевана (71). Это высокосернистые угленосные отложения. Содержание серы в этих пробах варьирует в пределах $3.05-5.2\%$, при среднем 3.8% .

б) Содержание пирита $>2.5 < 5\%$ при среднем 2.6% . Максимальные содержания пирита $2.63-2.65\%$. Это угли Нор-Аревика (78) и углистые

сланцы Иджевана (72) и Антарамута (74). Это умеренносернистые отложения. Содержание серы в них $1.34-1.42\%$, при среднем 1.39% .

в) Содержание пирита $<1\%$. Это углистые сланцы Антарамута (73) с содержанием пирита 0.77% , при среднем содержании серы 0.41% . Это слабосернистые углистые сланцы.

Выделенные группы пород по сернистости отличаются друг от друга морфоструктурными особенностями форм выделений пирита. Для углей первой группы (а) характерны компактные **многоячейные** колонии, для второй группы (б) – **многообразное сочетание оолитов-шариков**, и, наконец, для третьей группы (в) – **тонкопрожилковые и вкрапленные выделения пирита**. По-видимому, в первых двух группах роль микроорганизмов высока, чем и обусловлена морфометрия их форм выделения и биогенное (органогенное) происхождение.

2. В углях содержание пирита колеблется в широких пределах и составляет 2.63 (Нор-Аревик, 78)– 7.31% (Шамут, 76), при среднем содержании 5.1% . Содержание серы варьирует в пределах $1.41-5.2\%$, при среднем значении 3.14% . Причем только в углях Шамута (76), при содержании общей серы 5.2% , с пиритом не связаны только 1.29% серы (т.е. 25%), а железо полностью связано с пиритом. В углях Нор-Аревика и Джаджура, наоборот, сера полностью связана с пиритом, а железо, не связанное с пиритом, составляет 61% (от 3.16%) и 40% (от 4.08%) соответственно.

3. В угленосных сланцах, за редким исключением (Иджеван, 71), сера полностью связана с пиритом, а железо, не связанное с пиритом, составляет в сланцах Иджевана (72) 80% , Антарамута (73,74) – 77.5% , а Шамута (75,77) – 10% . Это связано с тем, что в угольных сланцах Иджевана и Антарамута значительная часть железа связана с магнетитом, гематитом, гидроокислами железа и другими железосодержащими минералами (камасит, поликсен), а также с карбонатами, силикатами и органическими соединениями. Отметим, что высокие содержания железа, не связанного с пиритом, установлены также в угленосных сланцах Нор-Аревика (данные ГМИ) и в меньшей степени Джерманиса, которые нашли свое отражение в гравиконцентрах (79,80,81).

4. Почти вся сера в угленосных отложениях Армении связана с пиритом. Исключение составляет Иджеван – 71 (сланец), где с пиритом не связаны 2.6% серы. Шамут – 76 (уголь) – 25% и Джаджур – 83 (гравиконцентрат) – 57% . Это, по-видимому, связано с наличием сульфатов Cu, Fe и Ba, переходящих в концентрат. Химические анализы ИГЕМ РАН подтверждают значительное их количество в угленосных отложениях и концентратах.

В зоне гипергенеза окисление пирита в терригенно-угленосных отложениях идет по общеизвестной схеме сульфидных месторождений (Угленосные формации и их генезис, 1973). Характерной особенностью этого процесса является то, что продукт окисления пирита – Fe^{3+} – снова вступает в реакцию с пиритом. Окисление пирита трехвалентным железом, известное как

Пересчет количества серы и железа, связанных с пиритом в угленосных отложениях Армении*

N/N n/n	Месторождение	Номер пробы	Состав породы	Содержание, %		Количество, %				
				S	Fe	пирита	серы		железа	
							в пирите	не связан. с пиритом	в пирите	не связан. с пиритом
1	Иджеван	71	Угл. сланец	3.13	2.65	5.7	3.05	0.08	2.65	-
		72	Угл. сланец	1.42	6.11	2.65	1.42	-	1.23	4.87
2	Аптарамут	73	Угл. сланец	0.41	3.23	0.77	0.41	-	0.36	2.87
		74	Угл. сланец	1.34	3.42	2.51	1.34	-	1.17	2.25
3	Шамут	75	Угл. сланец	3.05	2.85	5.7	3.05	-	2.65	0.20
		76	Уголь	5.2	3.4	7.31	3.91	1.29	3.4	-
		77	Угл. сланец с глиной	3.93	3.91	7.35	3.93	-	3.42	0.49
4	Нор-Аревик	78	Уголь	1.41	3.15	2.63	1.41	-	1.22	1.93
		79	Угл. гравиконцентрат	4.67	10.02	8.73	4.67	-	4.06	5.96
		80	Угл. гравиконцентрат	0.18	26.01	0.34	0.18	-	0.16	25.85
5	Джерманис	81	Угл. гравиконцентрат	0.53	9.16	0.99	0.53	-	0.46	8.7
6	Джаджур	82	Уголь	2.81	4.08	5.25	2.81	-	2.44	1.63
		83	Угл. гравиконцентрат	7.18	2.69	5.78	3.09	4.09	2.69	-

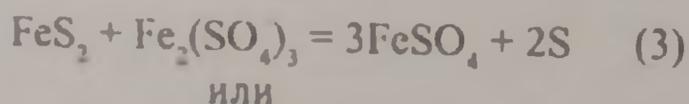
* Пересчет произведен с использованием пересчетных коэффициентов для расчета количества минералов по содержанию минералообразующих элементов в пробах

прямое действие в бактериальном окислении, протекает по реакции (3).

Обычно в зоне гипергенеза в условиях воздушно-водяного окисления протекает следующая реакция:



Закисный сульфат FeSO_4 неустойчив в условиях слабой кислотности и наличия кислорода и переходит в окисный железный сульфат $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. В нейтральных или слабокислых растворах $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ также неустойчив и гидролизует, образуя серную кислоту и гидроокись железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Последняя, дегидратизируясь, в конечном итоге образует минералы группы лимонита – лимонит dead look. Серная кислота в зоне окисления не оказывает существенного влияния на пирит. Сульфат железа активен по отношению к пириту, и в условиях отсутствия свободного кислорода образуется значительное количество элементарной серы, которая, хотя и малоустойчива и быстро окисляется, но может быть вовлечена в процесс воспроизводства сероводорода из сульфатредуцирующих микроорганизмов:



Наличие элементарной серы в углях является одним из основных подтверждающих факторов возможности течения реакции (1).

Исследованиями установлено, что скорость реакции окисления пирита (и марказита) во многом определяется участием в этих процессах микроорганизмов *Thiobacillus thiooxidans* и *Thiobacillus ferrooxidans*. Нейтральная и щелочная среда благоприятно действует на их жизнедея-

тельность (Юровский, 1968). При этом наблюдается определенная специализация микроорганизмов. Бактерия *ferrooxidans* окисляет сернистое железо до окисного, а выделяющаяся при этом энергия расходуется бактериями на восстановление органических веществ своего тела из двуокиси углерода. При окислении серы до сульфидов выделяющаяся энергия используется бактериями *thiooxidans* для обеспечения своей жизнедеятельности. При совместном действии обеих микроорганизмов на пирит образуется свободная серная кислота, и в растворах резко снижается pH, что сдерживает их жизнедеятельность.

Экспериментальными исследованиями установлено также, что окисление пирита хемолитотрофным штаммом *Sulfobacillus thermosulfidoxidans* стимулируется концентрацией Fe^{3+} , и скорость окисления заметно возрастает, однако при концентрациях более 1.0г/л окисление пирита ингибируется (Варданян, 2007). Следовательно, в природных условиях существует оптимальный режим соотношения концентрации Fe^{3+} и количества пирита, при котором происходит реакция (3), т.е. в природе происходит процесс саморегулирования.

Таким образом, фактический материал по терригенно-угленосным отложениям Армении свидетельствует о том, что морфоструктурное и текстурное многообразие пирита имеет генетическую основу. По морфогенетическим особенностям выделяется сингенетический и эпигенетический пирит. Эпигенетический пирит представлен различными морфометрическими формами органогенных оолитовых псевдоморфоз пирита по микросеробактериям, гидрогенных (гидрогенно-хемогенных) образований вдоль полостей трещиноватости, часто в ассоциации с органогенными образованиями и, наконец, в редких случаях –

гидротермальными кварц-пиритовыми или пиритовыми (сульфидными) тонкими прожилками на участках проявления даек и дайкообразных рвущих тел средне-кислого состава с наложенными хемогенно-органогенными образованиями. Хемогенно-органогенный пирит не гидротермальный, а инфильтрационный, т.е. экзогенный. Он образуется в условиях просачивания через перекрывающие слои угольного разреза железосодержащих метеорных вод в сульфатредуцирующие микросеробактериальные колонии-центры.

Работа выполнена по гранту 0697-453 Госбюджетного финансирования Министерства образования и науки РА.

Статью рецензировал и рекомендовал к опубликованию д.г.-м.н. Ш.О.Амирян.

ЛИТЕРАТУРА

Алоян П.Г., Алоян Гайк П. Платиноиды в промышленных рудах Армении. Ереван: "ГЕОИД", 2003, 182с.
Алоян П.Г., Алоян Гайк П. Металлоносность терригенно-угленосных отложений Армении. Изв.НАН РА,

Науки о Земле, 2003, N3, с. 8-13.

- Варданиян Н.С. Экология, биологические особенности хемолитотрофных бактерий и перспективы использования биовыщелачивания металлов в Армении. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. доктора геол. наук. Ереван, Институт геотехнологий НАН РА, 2007, 42с.
Клер В.Р., Ненахова В.Ф. Парагенетические комплексы полезных ископаемых сланценосных и угленосных толщ. М.: "Наука", 1981, 175с.
Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: "ИЛ", 1962, 1132с.
Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972, 287с.
Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1955, 331с.
Угленосные формации и их генезис. М.: "Наука", 1973, с.96-103.
Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. М.: "Недра", 1968, 214с.
Шнейдерхен Г. Рудные месторождения. М.: "ИЛ", 1958, 501с.
Aloyan P., Aloyan H. Gold Of Armenia. Russian Mining, 2003, N5, p.13-17.

ՊԻՐԻՏԻ ՄՈՐՖՈԳԵՆԵՏԻԿ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԾԽԱԲԵՐ ԿՈՄՊԼԵՔՍՆԵՐՈՒՄ

Հ. Պ. Ալոյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Առաջին անգամ Հայաստանի ածխաբեր կոմպլեքսներում դիտարկվում են պիրիտի մորֆոգենետիկ առանձնահատկությունները, քանի որ այն համարվում է թանկարժեք մետաղների կուտակիչներից մեկը: Անջատվում են սինգենետիկ և էպիգենետիկ պիրիտներ: Էպիգենետիկ պիրիտը ներկայացված է միկրոբակտերիաների (միկրոմանրէների) հաշվին առաջացած օրգանածին օօլիտային պսևդոմորֆոզների, ինֆիլտրացիոն ծագման (արտածին) հիդրոգեն (հիդրոգեն-քիմիածին) առաջացումների և հազվագյուտ դեպքերում՝ պիրիտի հիդրոթերմալ նրբերակների տարբեր մորֆոմետրական համակցություններով: Մաքուր վիճակում այդ գենետիկ տիպերը հանդիպում են հազվադեպ: Գերակայում են խառը տարատեսակները: Ստացված արդյունքները կարևոր նշանակություն ունեն տեխնոլոգիական հետազոտությունների համար:

MORPHOGENETIC PECULIARITIES OF PYRITE IN ARMENIA'S COAL COMPLEXES

Hajk. P. Aloyan

Abstract

For the first time considered are morphogenetic peculiarities of pyrite in Armenia's coal complexes as pyrite is one of precious metal concentrators. One distinguishes syngenetic and epigenetic pyrites. The latter is represented by combination of diverse morphometric forms of organogenic oolite pseudomorphs by micro bacteria, hydrogenic (hydro-chemogenic) formations of infiltration (exogenic) genesis and rarely – by hydrothermal pyrite veins. Pure forms of these genetic types are met with exceptionally, dominant are combined types. The obtained outcomes are valuable for technological investigations.