

А. А. КОДЖОЯН, С. С. МКРТЧЯН

ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ МИНЕРАЛОВ НА ШАУМЯНСКОМ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Сопоставление количественных и качественных соотношений минеральных ассоциаций в рудах некоторых полиметаллических месторождений Армянской ССР, выявление последовательности их выделения во времени и пространстве, характеризующей ход развития процессов минералообразования, позволили дать приближенную характеристику физико-химических условий образования полиметаллического оруднения в регионе [7].

В настоящей статье, основываясь на изучении текстурно-структурных и минералого-геохимических особенностей руд, характера изменения околожильных пород, парагенетических ассоциаций минералов, геохимических особенностей рудослагающих минералов показано, что на Шаумянском полиметаллическом месторождении проявлена первичная зональность отложения. Она выражена сменой ранних парагенетических ассоциаций минералов поздними и последовательным выделением слагающих их минералов. Это дало возможность впервые наметить условия формирования Шаумянского месторождения, выявить общую тенденцию изменения режима pH и Eh растворов, предопределившую зональность отложения.

Шаумянское полиметаллическое месторождение расположено на юго-восточном фланге Кафанского рудного поля. Руды месторождения представлены массивными кварц-сульфидными жилами, имеющими в основном близширотное простирание, крутое падение, значительную протяженность (до 450 м) и небольшую мощность (0,5—2 м). Изучению минерального состава и геохимических особенностей руд посвящены многочисленные работы [4, 5, 6, 8, 9], согласно которым рудные жилы характеризуются сложным составом; наряду с главными рудообразующими минералами—сфалеритом, галенитом, халькопиритом, пиритом в подчиненном количестве присутствуют борнит, теннантит. В относительно мелких, но распространенных выделениях в рудах встречаются самородное серебро, самородное золото, аргентит, теллуриды. Среди нерудных минералов наибольшим развитием пользуются кварц, кальцит, серицит, хлорит.

Обобщение и анализ большого фактического материала по минералого-геохимическим особенностям руд, характеру изменения околожильных пород, закономерному выделению парагенетических ассоциаций минералов показывают наличие единой метасоматической колонки, в которой проявлена первичная фациальная зональность [12], обусловленная сменой ранних парагенетических ассоциаций поздними и последовательным выделением слагающих ассоциации минералов (табл. 1).

Установлено, что на месторождении в процессе рудообразования происходила следующая последовательная смена парагенетических ассоциаций минералов: кварц-хлоритовая → кварц-хлорит-серицитовая → кварц-пирит-серицитовая — монокварцевая → кварц-пирит-халькопиритовая → кварц-халькопирит-сфалеритовая + (халькопирит-теллуридовая) → кварц-галенит-сфалеритовая → кварц-карбонатная.

Подобный характер выделения парагенетических ассоциаций минералов, объединяющих как зоны окolorудно-измененных пород, так и собственно руды, свидетельствует о существовании глубокой взаимосвязи между ними, имеющей место в сфере влияния и деятельности единой гидротермальной системы. Образование руд и связанных с ними измененных пород представляет собой единый процесс, важнейшие особенности которого находят свое отражение в закономерном распределении рудных элементов в окolorудных гидротермально-измененных породах. Рудные элементы подверглись закономерному распределению уже в процессе формирования окolorудно-измененных пород.

Схема образования парагенетических минеральных ассоциаций
и распределение в них элементов-примесей на Шаумянском
полиметаллическом месторождении

Периоды рудообра- зования	Парагенетические мине- ральные ассоциации	Распространенные минералы	Характерные элементы- примеси
Началь- ный	Кварц-хлоритовая Кварц-хлорит-серицит- овая Кварц-серицит-пирит- овая	Кварц I, хлорит, сери- цит I, пирит I, ре- же карбонат, флюо- рит	Галлий, таллий, ли- тний, магний
Основной	Кварц-пирит-халько- пиритовая	Кварц II, пирит II, халькопирит I, ре- же сфалерит I, сери- цит II	Селен, теллур, сурьма
	Кварц-халькопирит- сфалеритовая + (халькопирит-теллури- довая)	Кварц III, халькопи- рит II, сфалерит II, теллуриды свинца, серебра, висмута	Теллур, висмут, селен мышьяк, кадмий
	Кварц-галенит-сфале- ритовая	Кварц IV, сфалерит III, галенит I, аргентит, самородные серебро, золото	Таллий, серебро, золо- то, теллур, галлий
Конеч- ный	Кварц-карбонатная	Кварц IV, кальцит, реже барит, анкерит	Стронций, титан.

Ниже приводится краткая характеристика парагенетических ассоциаций минералов в порядке их последовательного выделения.

Наиболее ранними являются парагенетические ассоциации минералов, составляющие зону окolorудно-измененных пород. Мощность зоны изменения зависит от мощности жил и прожилков, колеблется от нескольких сантиметров до первых единиц метра. Зона изменения представляет собой последовательно сменяющие друг друга от периферии окolorудных изменений к зальбанду рудных жил парагенетические ассоциации в следующей последовательности: кварц-хлоритовая → кварц-хлорит-серицитовая → кварц-пирит-серицитовая → монокварцевая. Последняя представляет собой маломощную, прилегающую к зальбанду жилы зону монокварцита с редкой неравномерной вкрапленностью пирита.

Парагенетические ассоциации, составляющие в совокупности зону измененных пород, постепенно сменяются полосой кварц-пирит-халькопиритовой парагенетической ассоциации, расположенной обычно вдоль зальбандов жил, реже в виде небольших гнезд. Для рассматриваемой парагенетической ассоциации характерными минералами являются пирит II, халькопирит I, подчиненное значение имеют сфалерит I, теннантит, серицит, хлорит.

Следующей по времени образования является кварц-халькопирит-сфалеритовая парагенетическая ассоциация, в пределах которой нередко наблюдаются близодновременные образования халькопирит-теллуридовой парагенетической ассоциации. Основными минералами данной парагенетической ассоциации являются сфалерит II, халькопирит II; в подчиненном количестве встречаются теллуриды свинца, серебра, висмута.

Сфалерит II образует тесные срастания с халькопиритом II. Иногда сфалерит насыщен эмульсневидными включениями халькопирита, сконцентрированного вдоль границ его зерен (рис. 1а). В малых количествах, но почти всегда в массе относительно крупных обособлений халь-

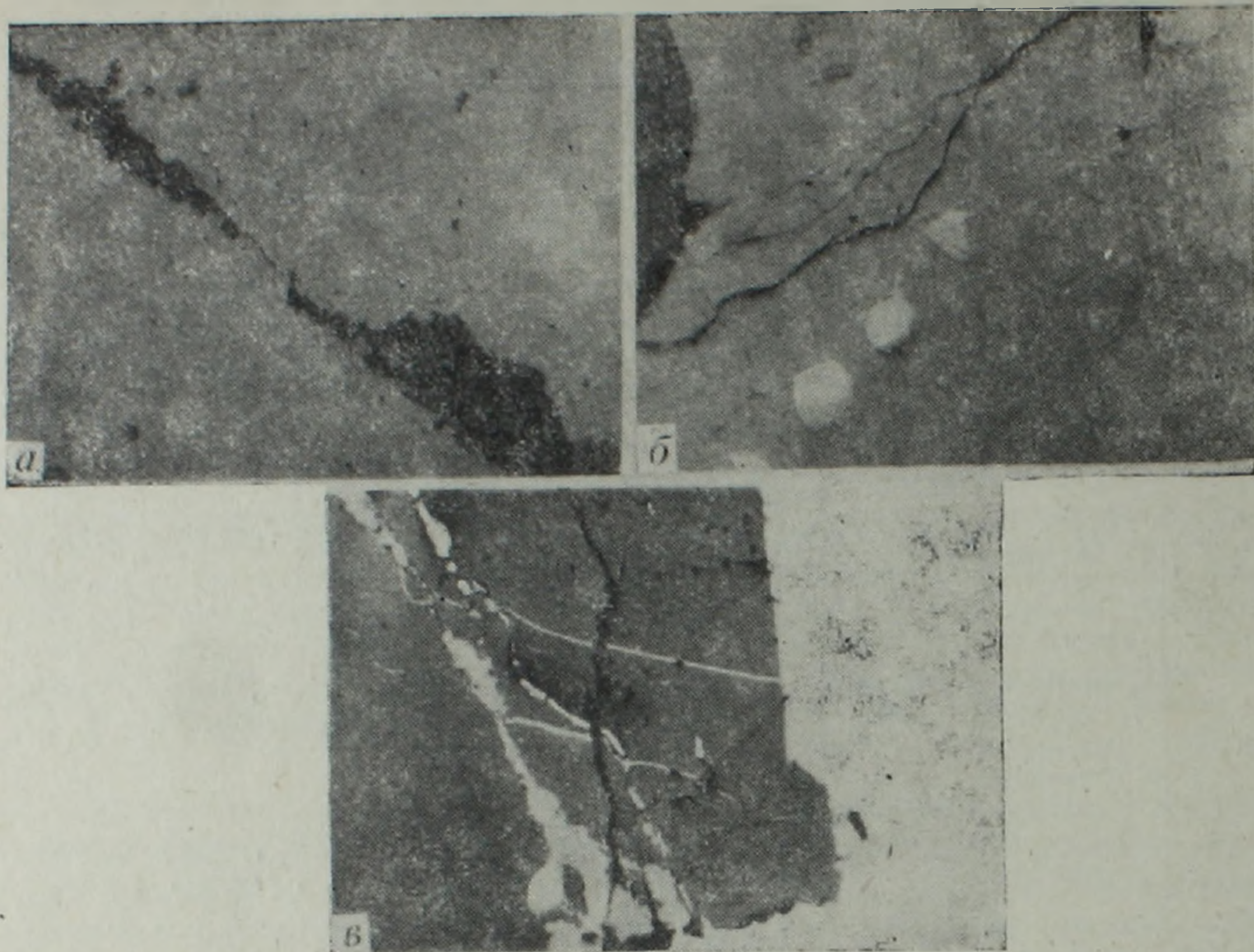


Рис. 1. *а*—Концентрация эмульсионной вкрапленности халькопирита в сфалерите вдоль жильного минерала (темное). Серое-сфалерит. Полир. шлиф. Ув. 165; *б*—Цепочкообразное распределение включений теллуридов свинца в халькопирите. Полир. шлиф. Ув. 165; *в*—Замещение сфалерита (серое) прожилкообразными выделениями халькопирита (светло-серое) и галенита (белое). Полир. шлиф. Ув. 165.

копирита II, иногда по границе его со сфалеритом II присутствуют теллуриды (алтант, гессит, петцит, теллуросмугит) (рис. 1б). Подробное описание распределения теллуридов в пределах зерен и их срастаний приводилось ранее [3].

Кварц-галенит-сфалеритовая парагенетическая ассоциация, следующая по времени образования, имеет широкое развитие и проявлена в пределах рудных жил. Доминирующим минералом ассоциации является сфалерит III, ему подчинены галенит I, халькопирит III. Для сфалерита III характерны крупнозернистые темноокрашенные агрегаты; встречаются также зональные разноокрашенные кристаллы. Иногда в зернах сфалерита III наблюдаются микропрожилки халькопирита, расположенные по линиям спайности (рис. 1в). Сфалерит III представлен маложелезистой разновидностью и, как правило, лишен эмульсионной вкрапленности халькопирита. Галенит I и сфалерит III в основном образуют ровные границы срастания без заметных признаков коррозии. Реже галенит I выполняет трещины и промежутки между зернами сфалерита III, а также в виде своеобразных кайм обрастает сфалерит III.

Заключительную фазу гидротермального процесса рудообразования, выразившуюся в образовании гнезд, жил и прожилков, представляет кварц-карбонатная ассоциация минералов. Ее главными минералами являются кварц и кальцит. Довольно часто в составе ассоциации встречаются пирит, халькопирит, сфалерит и галенит, образующие пятнистые или вкрапленные выделения в общей кварц-кальцитовой массе.

Анализ минералого-геохимических особенностей парагенетических ассоциаций руд и измененных вмещающих пород позволяет выделить ряд признаков, характеризующих общую направленность процесса рудоотложения на месторождении:

а) От начальных парагенетических ассоциаций минералов к последующим наблюдается усложнение минерального состава, выраженное в увеличении количества минеральных видов и в переходе от простых сульфидов к сложным (сульфосоли, теллуриды) и далее к сульфатам.

б) Наблюдается дифференцированное распределение зон измененных пород, окаймляющих рудные жилы. Так, с удалением от зальбандов рудных жил последовательно сменяют друг друга кварц-пиритовая, кварц-пирит-серицитовая, кварц-серицит-хлоритовая и кварц-хлоритовая ассоциации. Каждая из ассоциаций характеризуется ей свойственным набором элементов-индикаторов руд [14], что свидетельствует о закономерном их распределении в измененных породах уже в процессе формирования последних.

в) Между парагенетическими ассоциациями минералов выявляется взаимосвязь, которая выражена в наличии в предыдущей ассоциации минералов последующей ассоциации, количество которых увеличивается по мере уменьшения минералов более ранней ассоциации. Так, например, в пирит-халькопиритовой парагенетической ассоциации помимо пирита II и халькопирита I встречаются сфалерит I, теннантит, энаргит, которые выделяются после отложения основной массы халькопирита I и пирита II. Они как бы характеризуют начало формирования следующей по времени выделения халькопирит-сфалеритовой парагенетической ассоциации, для которой, в свою очередь, помимо сфалерита II и халькопирита II характерны теллуриды, аргентит, самородное серебро, самородное золото.

г) Для главных сульфидных минералов характерна определенная пространственная дифференциация. Так, халькопирит и сфалерит преимущественно развиты на более глубоких горизонтах по сравнению с галенитом. Отсюда и смещение максимумов меди вниз, а свинца—вверх относительно цинка. В горизонтальном направлении, вкрест простирания жил сменяются полосы кварц-пирит-халькопиритовой, галенит-сфалеритовой и кварц-карбонатной руды. А. А. Авакян и др. [1] доказали наличие корреляционных связей между основными рудообразующими элементами.

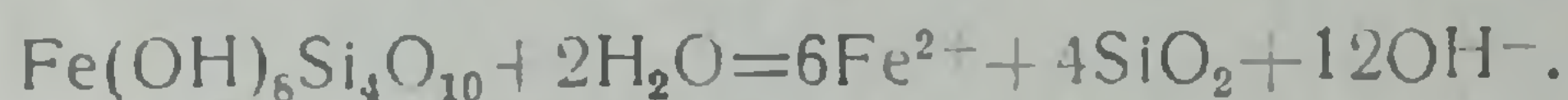
д) Каждая из парагенетических ассоциаций минералов характеризуется комплексом редких и рассеянных элементов. Так, с кварц-хлорит-серицитовой ассоциацией связано накопление галлия, таллия, лития; с кварц-пирит-халькопиритовой парагенетической ассоциацией—селена, в меньшей мере теллура; с кварц-халькопирит-сфалеритовой парагенетической ассоциацией связано увеличение концентрации теллура, висмута, мышьяка, накопление кадмия, галлия, германия; с кварц-галенит-сфалеритовой парагенетической ассоциацией связано накопление серебра, таллия.

Совокупность перечисленных признаков парагенетических ассоциаций минералов, зональность развития как процессов изменения пород, так и процессов рудоотложения дает возможность впервые провести генетический анализ парагенетических ассоциаций руд и окорудно-измененных пород Шаумянского месторождения. Он показывает, что большое влияние на отложение парагенетических ассоциаций минералов оказывают кислотно-щелочные (pH) и окислительно-восстановительные (Eh) свойства растворов. Известно [10], что место каждого элемента в любой парагенетической ассоциации минералов определяется устойчивостью его основной формы миграции в конкретных пределах изменения pH и Eh растворов.

Ниже остановимся на характеристике возможных изменений физико-химических параметров рудообразующих растворов в процессе рудообразования. Как уже отмечалось, зональность гидротермально измененных пород на месторождении выражена закономерной сменой кварц-хлоритовой → кварц-хлорит-серицитовой → кварц-пирит-серицитовой → монокварцевой ассоциаций. Растворы в этот период, судя по

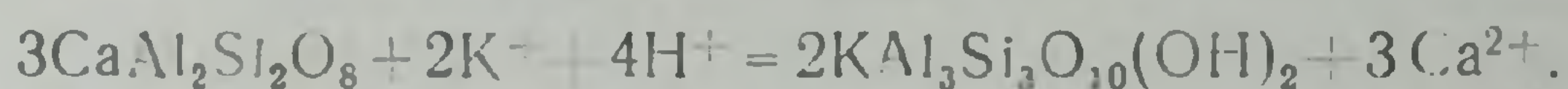
составу ассоциаций, приносили кремний и, видимо, калий, вошедший в состав серицита: натрий и железо для образования хлорита, вероятно, извлекались из вмещающих пород при окварцевании. Общий ход метасоматических реакций, вызвавших последовательное образование отмеченных минеральных ассоциаций, характеризуется замещением сильных оснований слабыми и слабых кислот сильными, что повышает кислотность минералообразующих растворов. Об общем росте кислотности гидротермальных растворов в процессе рудообразования свидетельствуют расчетные данные по устойчивости pH минералов и минеральных ассоциаций при 250°C [11]. Согласно этим данным, кварц-хлорит-альбитовая ассоциация устойчивее при pH 6,8÷4,0; кварц-пирит-серицитовая ассоциация—при pH 3,8÷2,1; монокварцевая—при pH 2,2÷0,5.

Вместе с тем наблюдается невыдержанное поведение наиболее слабых оснований (Fe) и кислотных компонентов (SiO₂), а это, в свою очередь, свидетельствует о неустойчивом режиме pH. Так, хлоритизации в основном подверглись железомagneзиальные алюмосиликатные породы, недосыщенные кремнекислотой, образуя кварц-хлоритовую ассоциацию. Равновесная реакция при этом выглядит следующим образом:

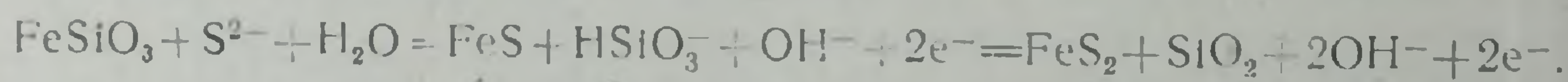


Эти реакции характеризуются высоким окислительным потенциалом растворов и малой активностью серы, что определяет осаждение железа в виде силиката (хлорита) в ассоциации с кварцем.

Породы, богатые щелочными алюмосиликатами, подверглись серицитизации и окварцеванию. Высвободившийся при окварцевании алюминий выносится из пород и принимает участие в образовании серицита. Благоприятно сказывается на процессе серицитизации и привнос калия на общем фоне подкисления раствора по схеме:



С интенсификацией окисления раствора растет процесс окварцевания замещенных толщ вплоть до образования зон монокварцитов с вкрапленностью пирита. Появление парагенезиса кварц-пирит возможно при росте концентрации в растворе сульфидной серы, когда ее становится достаточно для отложения сульфида железа-пирита, на фоне роста кислотности и окислительности раствора.

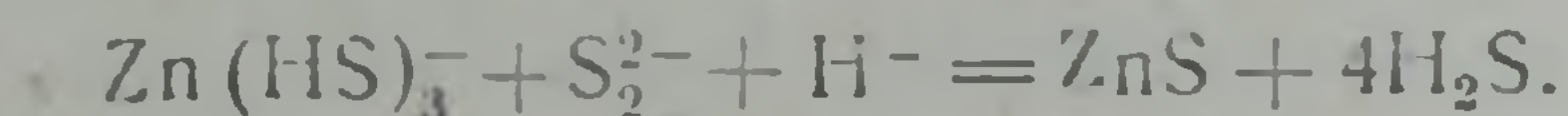
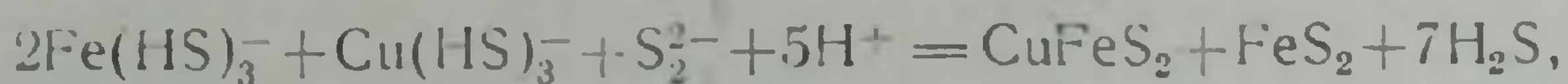
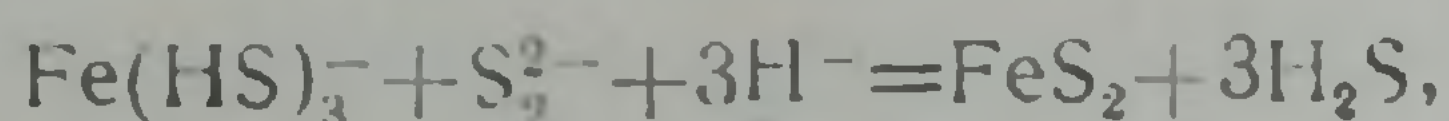


Околорудно-измененные породы сопровождаются ореолами рассеяния элементов-индикаторов. Статистическая разработка материала по распределению элементов-индикаторов в измененных породах позволила выявить определенные закономерности в составе и строении эндогенных ореолов рассеяния. Они характеризуются зональным строением, выраженным в закономерном изменении качественного состава и количественных соотношений элементов-индикаторов по мере удаления от рудных тел. Значительную протяженность и большую миграционную способность проявляют элементы индикаторы Cu, Zn, Ba, тогда как Pb, Ag, Cd, Au имеют меньший ореол распространения, а As, Sb, Bi встречаются спорадически и занимают обособленное положение в общем ряду последовательного выделения элементов-индикаторов в ореолах. Эта группа элементов как бы отгоняется в стороны от рудных тел, поэтому частота их встречаемости вблизи рудных тел меньше, чем на некотором расстоянии от них. В общих чертах средние содержания элементов-индикаторов с удалением от рудных тел уменьшаются. Соотношение содержаний каждого элемента в последнем интервале к первоначальному содержанию показывает его потенциальную возможность и подвижность при инфильтрации растворов через

вмещающие породы [13]. Зональность ореолов рассеяния ориентирована относительно зональности окolorудно-измененных пород. Наблюдается взаимосвязь между зонами окolorудно-измененных пород и геохимическими ассоциациями элементов-индикаторов в них. Так, с кварц-серицитовой ассоциацией измененных пород связан широкий спектр элементов-индикаторов, отражающих состав руд; с кварц-серицит-хлоритовой ассоциацией связана геохимическая ассоциация Pb, Zn, Cu, Ba. С внешней кварц-хлоритовой ассоциацией совпадает геохимическая ассоциация наиболее подвижных индикаторов—Zn, Cu, Ba. Наблюдаемая взаимосвязь минеральных ассоциаций изменения с геохимическими ассоциациями элементов-индикаторов ореолов рассеяния свидетельствует об их близко-одновременном образовании в сходных физико-химических условиях.

Следующей по времени образования является сульфидная минеральная ассоциация, состоящая из последовательно сменяющих друг друга парагенезисов минералов: пирит-халькопиритовая → халькопирит-сфалеритовая + (халькопирит-теллуридовая) → галенит-сфалеритовая. Состав растворов, из которых формировались перечисленные парагенетические ассоциации, отличался от такового предыдущей серии ассоциаций. Он характеризовался значительным привносом железа и серы, цинка, меди, менее свинца и совсем уже малым количеством кадмия, галлия, серебра, теллура и др.

С самого начала образования парагенетических ассоциаций имело место снижение окислительного потенциала растворов за счет понижения температуры и увеличения диссоциации H_2S [2]. Растворы претерпевали некоторое увеличение щелочности, что зафиксировано метасоматическими реакциями, в результате которых минералы, обладающие кислотными свойствами (кварц), замещались минералами с менее выраженными кислотными свойствами (сульфиды). На повышение щелочности растворов указывает также наличие в парагенезисе с пиритом и халькопиритом крупночешуйчатого серицита, что возможно при замещении более слабых оснований—натрия, магния. Далее, по мере образования сульфидов щелочность растворов вновь снижается, о чем свидетельствует близодновременное образование халькопирита и сфалерита, образующих часто твердый раствор, который с изменением режима pH растворов распадается с выделением в сфалерите обособлений халькопирита. Образование минералов пирит-халькопиритовой парагенетической ассоциации соответствовало реакциям:



Дальнейшее повышение кислотности растворов характерно и для образования сфалерит-галенитовой парагенетической ассоциации, отличающейся привносом растворами свинца, возрастанием роста концентрации цинка в растворе и, напротив, вначале уменьшением, а затем и прекращением концентраций меди. В данной парагенетической ассоциации выпадение главной массы сфалерита опережает выпадение галенита. Известно [2], что свинец способен образовывать сульфидные соединения в более окислительных условиях по сравнению с медью и цинком. Об этом свидетельствует также парагенезис галенита с баритом, содержащим продукт высшей степени окисления серы—комплексный анион $[SO_4]^{2-}$, устойчивый лишь в окислительных условиях. Неустойчивый режим pH растворов сохранился и в процессе образования последней безрудной кварц-барит-карбонатной ассоциации, о чем свидетельствует состав ассоциации. Здесь основными минералами являются кварц, барит, кальцит. Наличие барита указывает на

высокое содержание в растворе кислорода, что могло быть вызвано как общим обогащением кислородом последних порций гидротермальных растворов в связи с понижением температуры, так и, видимо, близповерхностным образованием ассоциации.

В условиях повышенного кислородного потенциала сера приобретала высокую степень окисления и участвовала в сложении комплексного аниона $[\text{SO}_4]^{2-}$. В то же время, к концу процесса в реакцию с кислородом вступала оставшаяся часть углекислоты, в силу чего раствор насыщался анионом $[\text{CO}_3]^{2-}$. В этих условиях отлагался карбонат. Отложение карбоната указывает на щелочной характер растворов. Известно, что насыщение раствора углекислым кальцием при понижении температуры приводит к увеличению его щелочности [14].

Подводя итог изложенному материалу, следует признать, что при формировании месторождения гидротермально-метасоматическим путем закономерное развитие физико-химических условий растворов (рН, Eh, активность сульфидной серы и др.) — основная причина формирования зональных руд и сопровождающих их измененных пород.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 16.XII. 1986.

Ա. Հ. ԿՈՋՈՅԱՆ, Ս. Ս. ՄԿԵՐՏՉՅԱՆ

ՇԱՀՈՒՄՅԱՆԻ ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՄԻՆԵՐԱԼԱՅԻՆ ՀԱՄԱՄԻՆ
ԶՈՒԳԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ԱՌԱՋԱՅՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հանքանյութերի տեքստուրա-ստրուկտուրային և միներալաբանա-երկրաբանական յուրահատկությունների, մերձերակային ապարների փոփոխության բնույթի և դրանց ուղեկցող ցրման ներքին եզրապսակների ուսումնասիրման հիման վրա ի հայտ է բերված մի շարք համաձայն միներալային զուգորդությունների, որոնք բնորոշվում են ժամանակային և նյութական կազմի և տրաբածանումներով:

Համաձայն զուգորդությունների տեղաբաշխման բնույթի, դրանց միներալաբանա-երկրաբանական յուրահատկությունների ուսումնասիրումը հիմք է տալիս համարելու, որ Շահումյանի բազմամետաղային հանքավայրում արտահայտված է հանքառաջացման էվոլյուցիոն լոնալականությունը, որը բնորոշվում է վաղ միներալային համաձայնությունների հաջորդական փոփոխմամբ ավելի ուշ առաջացումներով, ինչպես նաև դրանք կազմող միներալների զոնալ անջատմամբ: Հաստատված է, որ զոնալ հանքանյութերի և ապարների փոփոխությունների առաջացման հիմնական պատճառը՝ դա լուծույթների ֆիզիկա-քիմիական պայմանների օրինաչափ դարդացումն է:

A. H. KODJOYAN, S. S. MKERTCHIAN

THE SHAHUMIAN POLYMETALLIC ORE DEPOSIT MINERALS PARAGENETIC ASSOCIATIONS AND CONDITIONS OF THEIR FORMATION

A b s t r a c t

On the basis of investigation the ores structural-textural and mineralogical-geochemical peculiarities, the wall rock alteration character and

the accompanying endogenous aureoles a number of minerals paragenetic associations is established, which are characterized by temporal and substantial subdivisions.

The paragenetic associations distribution character as well as their mineralogical-geochemical peculiarities investigation allows to consider, that at the Shahumian polymetallic deposit an evolutionary zonality of ore formation is revealed, which is characterized by a consecutive change of early mineral parageneses by late ones as well as by the zonal formation of composing those parageneses minerals. It is established, that the main reason of zonal ores and altered rocks formation is a regular development of the solutions physical-chemical conditions.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян А. А., Зарьян Р. Н., Саркисян Р. А., О корреляционных связях основных рудообразующих элементов Шаумянского золото-полиметаллического месторождения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1982, т. XXXV, № 4, с. 43—49.
2. Бетехтин А. Г. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования.—В кн.: Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: Изд. АН СССР, 1955, с. 122—275.
3. Добровольская М. Г., Коджоян А. А., Цепин А. И.—Теллуриды в рудах Шаумянского месторождения—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1974, т. 27, № 1, с. 89—97.
4. Добровольская М. Г., Коджоян А. А., Кортман Р. В.—Минеральный состав руд Шаумянского полиметаллического месторождения и закономерности распределения в них редких и рассеянных элементов.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1977, т. 30, № 2, с. 35—44.
5. Зарьян Р. Н. Теллуриды и теллурат свинца в рудах Кафанского месторождения.—Изв. АН АрмССР, сер. геол.-геогр. наук, 1962, т. 25, № 2, с. 25—29.
6. Зарьян Р. Н. О стадиях минерализации Кафанского медно-полиметаллического месторождения.—Изв. АН АрмССР, сер. геол.-геогр. наук, 1963, т. XVI, № 4—5, с. 131—141.
7. Коджоян А. А., Мкртчян С. С.—Типоморфные минеральные ассоциации полиметаллических месторождений Армянской ССР.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1984, т. 37, № 6, с. 23—32.
8. Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Фарамазян А. С., Амирян Ш. О. и др.—Редкие и благородные элементы в рудных формациях Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1972, 393 с.
9. Магакьян И. И., Карагулян С. О. Минеральные ассоциации и типы руд Шаумянского месторождения.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1978, т. 31, № 1, с. 28—36.
10. Маракушев А. А. Миграционная способность и геохимическая систематика металлов.—Вестник АН СССР, 1972, № 6, с. 46—51.
11. Павлов А. Л. Эволюция физико-химических параметров гидротермальных систем при рудообразовании. Новосибирск: Наука, 1976. 220 с.
12. Смирнов В. И. Типы гипогенной зональности гидротермальных рудных тел.—В сб.: Генетические проблемы руд. Докл. сов. геологов на XXI сессии Международного геол. конгресса. М.: Госгеолтехиздат, 1960, с. 5—15.
13. Хачатурян Э. А., Мкртчян С. С. О поведении рудных компонентов в процессе гидротермального изменения вмещающих пород.—Тез. докл. Всес. симп. Метасоматизм и колчеданное оруденение. Ереван: 1975, с. 134—135.
14. Щербина В. В. Формы переноса химических элементов в процессах минералообразования и условиях их концентрации.—В кн.: Вопросы геохимии и минералогии. М.: Изд. АН СССР, 1956, с. 72—82.