Известия АН Армянской ССР, Науки о Земле, 2, 35—44, 1977

УДК 549.31.32+550.42

М. Г. ДОБРОВОЛЬСКАЯ, А. А. КОДЖОЯН, Р. В. КОРТМАН

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД ШАУМЯНСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В НИХ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Кафанский рудный район, в котором сосредоточены многочисленные рудопроявления и месторождения, в том числе и Шаумянское, представляет большой интерес в связи с его перспективностью на ряд важных металлов. Шаумянское месторождение отличается от других известных в районе месторождений, поэтому изучение его геолого-минералогических особенностей, а также геохимии руд имеет важное значение для понимания генезиса месторождения и комплексного извлечения полезных компонентов.

Вопросы геологического строения, структуры и околорудного изменения пород освещены в работах [1, 2, 5].

Рудные тела локализуются в трещинах оперения основных рудоконтролирующих структур и представляют собой кварц-сульфидные жилы выполнения преимущественно близширотного простирания. Распределение рудных скоплений в жилах неравномерно, жильные минералы и сульфиды наблюдаются в переменных количествах, но в большинстве случаев преобладают кварц и карбонаты.

Минеральный состав руд

Рудные жилы состоят в основном из кварца, карбоната, сфалерита пирита, халькопирита. В подчиненном количестве присутствуют галенит, блеклая руда, флюорит. Характерными для руд месторождения являются минералы теллура, встречающиеся в небольших количествах, относительно мелких, но распространенных выделениях [3—6].

Структурные условия локализации рудных жил и характер выполнения полостей обусловили многообразие текстур руд. Наиболее распространены крустификационные, крустификационно-полосчатые, симметрично-полосчатые и пятнистые текстуры. Вкрапленные текстуры редки и характеризуются образованием рассеянного пирита в массе жильного кварца и среди измененных пород на контакте с жилами.

Текстурно-структурные особенности руд и соотношения минеральных агрегатов позволяют выделить следующие парагенетические минеральные ассоциации: кварц-пиритовую, пирит-халькопиритовую, галенит-сфалеритовую с золотом и теллуридами, кварц-кальцитовую.

Ранняя кварц-пиритовая ассоциация имеет повсеместное развитие. Она представлена средне- и крупнозернистым кварцем, в промежутках

зерен которого наблюдается пирит. К ранним образованиям пирита можно отнести выделения его в виде метакристаллов в интенсивно окварцованных породах.

Пирит-халькопиритовая ассоциация в виде вкраплений и тонких прожилков наблюдается среди кварц-пиритовых агрегатов. Для халькопирита типичны относительно крупные обособления, содержащие своеобразные колломорфные образования пирита (рис. 1). Происхождение

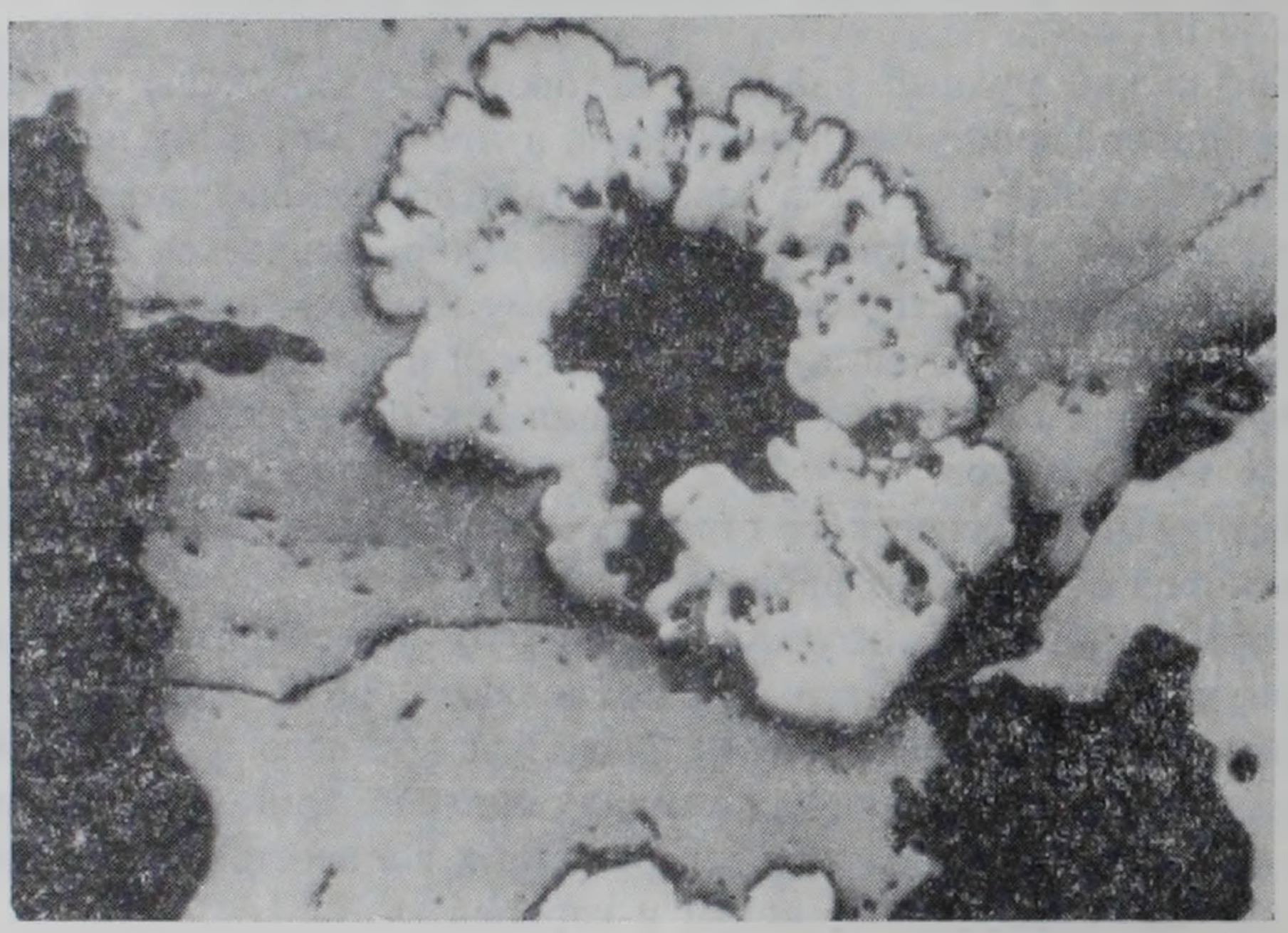

Рис. 1. Колломорфный пирит (белое) в массе халькопирита I (светло-серое). Темное—кварц. Полированный шлиф. Увел. 90.

такого пирита не совсем ясно. Либо это реликты раннего колломорфного пирита, интенсивно замещенного халькопиритом, о чем свидетельствуют тончайшие срастания этих двух минералов, либо округлые выделения пирита возникли в результате замещения и переотложения раннего дисульфида железа. Об интенсивном процессе замещения ранних кварц-пиритовых агрегатов халькопиритом свидетельствуют признаки дробления, цементации и залечивания трещин в кварце и пирите халькопиритом (рис. 2), а также коррозия и переотложение ранних минералов.

Галенит-сфалеритовая ассоциация имеет широкое развитие в рудах месторождения. Доминирует в данной ассоциации сфалерит; галенит, халькопирит и тетраэдрит отмечаются в подчиненном количестве. Для сфалерита характерны крупнозернистые агрегаты, иногда встречаются зональные разноокрашенные кристаллы. Сфалерит насыщен эмульсиевидными включениями халькопирита, часто сконцентрированными вдоль границ с другими минералами (рис. 3). Локально галенит и сфалерит раздроблены и замещены более поздними кварцем и кальцитом. Обычно галенит и сфалерит образуют ровные границы сраста-

Рис. 2. Раздробленный пирит (белое), залеченный прожилками сфалерита (серое), халькопирита (светло-серое) и кварца (темное). Полированный шлиф. Увел. 165.

Рис. 3. Характер замещения сфалерита (серое) кварцем (темное) и халькопиритом II (светлое). Эмульсиевидная вкрапленность халькопирита концентрируется по границе сфалерита и замещающих его минералов. Полированный шлиф. Увел. 165.

ния без заметных признаков коррозии. Однако наблюдается галенит, выполняющий трещины и промежутки между зернами в сфалерите, а также в виде своеобразных кайм, обрастающих сфалерит. Сюда же от-

носятся основная масса тетраэдрита и теллуриды. Среди теллуридов отмечаются алтаит, гессит, петцит, теллуровисмутит, а также теллуриды золота. Самородное золото встречается редко, но его связь с данной ассоциацией несомненна. Халькопирит и блеклая руда в описываемой ассоциации являются более поздними по отношению к сфалериту, о чем свидетельствуют признаки замещения сфалерита, цементация его дробленых зерен поздними сульфидами, перераспределение и укрупнение эмульсневидной вкрапленности халькопирита в сфалерите вследствие перекристаллизации последнего.

Самородное золото и теллуриды обычно сосредоточены в массе относительно крупных обособлений халькопирита, равновесного со сфалеритом, иногда по границе этих минералов или в трещинках сфалерита, галенита и тетраэдрита (рис. 4). Нередко выделения теллуридов представлены не одним, а несколькими минеральными видами, среди которых наиболее распространены гессит, алтаит, реже встречаются теллуровисмутит и петцит. Приуроченность теллуридов свинца, серебра, висмута, золота и более сложного, многокомпонентного состава к трещинкам, пустоткам, границам зерен главных рудовмещающих минералов указывает на их более позднюю кристаллизацию в процессе рудоотложения.

Рис. 4. Характер выделения—включения и прожилковидные образования теллуридов свинца (светлое) и серебра (серое) в массе халькопирита (светло-серое) и сфалерита (темное). Полированный шлиф. Увел. 165.

Кварц-кальцитовая ассоциация имеет широкое развитие. Она завершает минералообразование и проявлена в виде различной мощности прожилков, секущих сульфидные агрегаты, а также обособлений в центральной части жил. Кварц и кальцит цементируют раздробленные

агрегаты пирита, сфалерита, халькопирита и других сульфидов. В кальцитовых жилах часто встречаются гнезда флюорита и жеоды, выполненные друзами кварца.

В поздних кварц-кальцитовых образованиях иногда встречаются переотложенные сфалерит, галенит, халькопирит, реже блеклая руда. Перечисленные сульфиды образуют мелкие вкрапления среди кальцита и кварца.

Распределение элементов-примесей в рудообразующих минералах

На основании более 120 количественных спектральных анализов и единичных химических анализов, выполненных с помощью рентгеноспектрального микроанализатора, получены данные по распределению редких и рассеянных элементов в пирите, сфалерите, халькопирите, галените и теллуридах. Наибольшее количество анализов характеризует состав обогащенных фракций сфалерита, меньшее—халькопирита. Состав теллуридов изучался с помощью рентгеноспектрального микроанализатора в процессе диагностики данной минеральной группы [3]. В результате проведенных исследований выявилось, что для руд Шаумянского месторождения характерен разнообразный спектр элементов-примесей. При этом каждый рудообразующий сульфид практически содержит весь установленный спектр примесей, но содержания их резко различаются. Средние содержания элементов-примесей в главных рудообразующих минералах (табл. 1) показывают, что основным концентратором таких редких элементов, как золото, серебро, теллур, германий, галлий является главным образом сфалерит и в меньшей степени халькопирит. Следует особо отметить обогащенность сфалерита кадмием. Сурьма, висмут, медь, теллур и частично серебро присутствуют в заметных количествах и в галените. В алтаите обнаружены висмут, серебро, медь соответственно 1,79; 0,41; 0,09 вес.%, в теллуровисмутите—Ag и Cu—первые десятые доли процента и ~1 вес.% Pb. Примерно в таких же количествах отмечается медь и в петците. Зараженность медью теллуридов и поздних генераций галенита является характерной особенностью руд месторождения. По-видимому, это объясняется тем, что указанные минералы встречаются главным образом в халькопирите и заимствуют часть меди при его замещении.

Рассмотрим распределение и количественные соотношения редких и рассеянных элементов в главных рудообразующих минералах.

П и р и т. Наиболее детально изучен пирит жилы 4. Независимо от принадлежности к той или иной жиле пирит характеризуется одним и тем же набором главных элементов-примесей, содержания которых неодинаковые в различных рудных телах. В пирите отмечаются *Mn, Ni, Co, Ti, V, Cu, Pb, Ag, Sb, Bi, As, Zn, Cd, In, Te*. Почти во всех пробах (исключение представляют единичные анализы) присутствуют *Mo, Sn, Ge, Ga, Au* и только в трех анализах обнаружен таллий. Нахождение в пирите *Pb, Cu* и *Zn*, соответственно в среднем 0,09, 1,37 и

Таблица 1

Средние содержания элементов-примесей в главных рудообразующих минералах (по данным количественных спектральных анализов*)

Элементы	Пирит	Халькопирит	Сфалерит	Галенит
	число проб			
	11	38	17	7
Mn	0,022	0,025	0,155	0,049
Fe	—	—	0,906	0,042
Ni	0,003	0,0019	0,005	0,0008
Co	0,005	0,0028	0,0033	0,0007
Mo	0,003	0,0034	0,0005	0,0015
Sb	0,010	0,103	0,053	0,028
As	0,116	0,246	0,056	0,017
Bi	0,003	0,003	0,0016	0,009
Ag	0,014	0,040	0,188	0,071
Cu	1,369	—	0,706	0,134
Pb	0,087	0,464	0,923	—
Zn	1,414	2,432	—	0,832
Cd	0,016	0,016	0,548	0,042
Sn	0,118	0,076	0,004	0,001
In	0,047	0,043	0,008	0,002
Ga	0,0009	0,0009	0,040	0,0008
Ge	0,0011	0,003	0,004	0,0004
Te	0,028	0,105	0,129	0,126
Hg	—	0,009	0,0019	0,002
Au	0,0014	0,007	0,0112	0,007

* Анализы выполнены в спектральных лабораториях ИГЕМ АН СССР Р. В. Кортман и ИГН АН Арм. ССР М. Я. Мартиросяном.

1,41% связано с наличием минеральных примесей галенита, халькопирита и сфалерита, образующих с ним тонкие срастания.

Содержания *Ni* и *Co* практически постоянны—0,002-0,004 и 0,003-0,007%. Лишь в одной пробе пирита (жила 11) содержание кобальта—0,012%. В этой же пробе содержание ванадия на порядок выше (0,0016%), чем в остальных образцах (0,0003%).

Несколько большие количества серебра (до 0,035%) и золота (до 0,0047%) отмечаются в пирите из жил 3 и 11 по сравнению с жилой 4, где пирит содержит *Ag* от 17 до 280 *г/т*, *Au*—от 3,5 до 17 *г/т*. Содержания теллура при этом практически постоянные—0,03%, редко 0,009 и 0,05%. Пирит из рудной жилы 3 характеризуется более высоким содержанием олова—0,3-0,9%, вместо 0,0006—0,009% в других рудных телах. Возможно это обусловлено присутствием самостоятельных оловосодержащих минералов. Мышьяк и висмут распределяются относительно равномерно и количества их не превышают первых десятых (*Ag*) и тысячных (*Bi*) долей процентов. Содержания сурьмы варьируют от 0,0045 до 0,022%.

В целом четкой корреляции между отдельными элементами не наблюдается, так как часть элементов-примесей присутствует изоморфно, а другая— в виде минеральных включений. Безусловно, что никель, ко-

бальт, мышьяк. и молибден, исходя из средних содержаний, относятся к собственно пиритовым примесям, так как пирит является их главным концентратором. Остальной спектр элементов (сурьма, висмут, медь, кадмий, серебро, теллур и др.) частично, видимо, связан с минералами-включениями, но не исключено и их изоморфное вхождение. Отдельные пробы показывают очень высокие содержания олова (0,9%) и индия (до 0,3%), что скорее всего обусловлено примесями станнина.

Халькопирит характеризуется более высокими, чем в пирите, содержаниями висмута, кадмия, индия, олова, серебра, теллура, золота. Следует отметить, что распределение серебра в халькопирите крайне неравномерно как по простиранию рудной жилы, так и по ее падению. На нижнем горизонте серебро наблюдается в постоянных (0,03%), но относительно меньших количествах, чем на верхнем горизонте, где только по жиле 11 оно варьирует от 0,004 до 0,15% (среднее 0,052%). Заметно выше содержание теллура (до 0,3%) в халькопирите, чем в пирите, с глубиной содержание теллура так же, как и серебра падает. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что на глубине теллуриды, как минералы-включения в халькопирите, имеют меньшее развитие. Халькопирит существенно обогащен мышьяком и сурьмой, средние содержания которых соответственно 0,25; 0,10%. Наличие этих примесей можно объяснить срастанием его с блеклыми рудами, преимущественно с теннантитом.

На порядок, иногда на два порядка выше содержание золота в халькопирите по сравнению с пиритом. Каких-либо закономерностей поведения золота с глубиной выявить не удалось, возможно в связи с неравноценным количеством анализов с верхнего и нижнего горизонтов.

Полуколичественные спектральные анализы халькопирита, выполненные в ИГЕМ, показали присутствие в нем ниобия—тысячные и бора—десятитысячные доли процента.

Следует подчеркнуть неравномерное распределение олова и индия в халькопирите. Высокие содержания указанных элементов (до 0,7 *Sn* и 0,24 *In*) так же, как и в случае пирита, характерны для проб, взятых по жиле 3. В этих пробах содержания *Sn* и *In* на порядок выше средних.

Сфалерит изучен наиболее детально. Состав сфалерита из различных рудных тел неодинаков. Спектральные анализы позволили выявить ряд типоморфных особенностей его в рудах Шаумянского месторождения. К главным типоморфным признакам следует отнести прежде всего маложелезистость и высокую кадмиеносность шаумянского сфалерита. Среднее содержание железа менее одного процента, среднее—кадмия более 0,5%, отдельные пробы показали 1% и выше. Чрезвычайно интересной особенностью сфалерита является его обогащенность галлием и германием (средние значения Ga—0,40; Ge—0,004%). Наибольшие количества серебра, золота и теллура также наблюдаются в сфалерите (табл. 1).

Анализ распределения главных элементов-примесей в сфалерите из различных рудных тел позволил выявить следующие закономерно-

ти. Наиболее высокие содержания кадмия (~1%) обнаружены в сфалерите из жилы 11. В этих же пробах фиксируются повышенные содержания трех элементов: серебра, золота, теллура и чрезвычайно высокие (>2%, иногда ~5%)—меди. Учитывая, что анализы показывают более 1,5% железа, можно предположить, что пробы содержат значительное количество халькопирита в виде минеральной примеси. В пределах средних значений (0,04%) и несколько выше в сфалерите присутствует галлий. В остальных же рудных телах содержание галлия в сфалерите немного ниже или равно средним значениям. Следует отметить так же, что количество теллура и серебра в сфалерите с глубиной сохраняется, содержание золота—уменьшается.

В целом, исходя из средних содержаний главных элементов-примесей, сфалерит наиболее богат такими элементами, как золото, ртуть, теллур, германий, галлий, кадмий, серебро. Не исключено, что необычно высокие содержания кадмия и галлия в сфалерите возможно связаны с редкими минеральными формами (например, гринокит или сульфид галлия). Присутствие золота, серебра, теллура безусловно связано с включениями теллуридов. Остальные элементы-примеси (*Hg, Ge* и др.) следует отнести к изоморфным.

В отдельных пробах сфалерита, взятых из рудной жилы 11, был определен селен (аналитик Сидельникова, лаборатория ИГЕМ). Среднее содержание селена в сфалерите—$8 \cdot 10^{-4}$ %. В одной пробе содержание *Se* достигает $1{,}95 \cdot 10^{-3}$ %. Обнаружение селена в сфалерите Шаумянского месторождения в таких количествах позволяет предположить значительные его накопления в продуктах поздних ассоциаций, в частности в галените, поскольку последний является его основным концентратором. В одном из образцов галенита, образующего срастания с алтаитом из руд Кафанского месторождения по данным Цепина А. И. (лаборатория ИГЕМ) обнаружено 0,42% селена, который отмечался ранее [3].

Галенит относится к сравнительно мало распространенным минералам, поэтому число анализируемых образцов невелико. Однако имеющиеся анализы позволяют говорить об особенностях его состава. Все пробы галенита обогащены медью, видимо, за счет замещения халькопирита. К главным элементам-примесям следует отнести серебро, висмут, кадмий, теллур. Анализы галенита показали необычно высокие содержания в нем кадмия (в среднем—0,42%). При этом не всегда отчетлива корреляция между кадмием и цинком (если предположить, что *Cd* за счет включений сфалерита), поэтому есть все основания отнести *Cd* к изоморфной примеси галенита. Присутствие серебра, висмута и теллура, по-видимому, связано с наличием мелких включений теллуридов в галените. В нем отмечаются сурьма и мышьяк (соответственно в среднем 0.028 и 0,017%), но содержания их ниже чем в сфалерите и еще ниже ,чем в халькопирите. Поэтому трудно сказать, связаны ли эти элементы с включениями блеклой руды или присущи самому галениту.

Заключение

Рассматривая закономерности распределения элементов-примесей, обнаруженных в обогащенных фракциях главных рудообразующих минералов и полагая, что пирит, халькопирит, сфалерит и галенит последовательно кристаллизуются из растворов, можно сделать следующие выводы. В ранние периоды рудоотложения раствор был существенно обогащен железом, вследствие чего отлагались значительные массы пирита и возможно оловосодержащие минералы, поскольку содержание олова в пирите сравнительно высокое (табл. 1). Ряд элементов-примесей (*Co, Ni, Mo,* частично *Cu, As, Au*) изоморфно входит в состав пирита, а *In,* по-видимому, связан с оловосодержащими минералами. Остальные элементы (*Mn, Bi, Sb, Ag, Pb, Zn, Cd, Ge, Ga, Te*) не типичны для пирита, и присутствие их объясняется загрязнением проб включениями различных по составу минералов.

Последующий период рудоотложения характеризуется накоплением медьсодержащих минералов—халькопирита и блеклых руд. Халькопирит обогащен сурьмой, мышьяком, цинком за счет срастания с блеклыми рудами и сфалеритом. Содержание в нем олова и индия так же высоко, как и в пирите, поэтому возможно, что и в этот период олово присутствовало в растворах.

Резко меняется состав рудообразующих растворов в поздние периоды, в течение которых кристаллизовались сфалерит и галенит. Для данного периода характерно накопление марганца, серебра, теллура, кадмия, галлия, германия, золота. Главным концентратором указанных элементов является сфалерит, но существенны содержания их и в галените. Наличие в сфалерите и галените меди, железа, мышьяка, сурьмы, по всей вероятности, связано с включениями минералов-примесей.

Широкий спектр элементов-примесей в рудах Шаумянского месторождения и относительно высокие содержания серебра, теллура, возможно селена, кадмия, олова, индия, галлия представляют интерес для комплексного использования руд.

ИГЕМ АН СССР,
Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 2.IV.1976.

Մ. Դ. ԴՈԲՐՈՎՈԼՍԿԱՅԱ, Ա. Հ. ԿՈՋՈՅԱՆ, Ռ. Վ. ԿՈՐՏՄԱՆ

ՇԱՀՈՒՄՅԱՆԻ ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄԻՆԵՐԱԼԱՅԻՆ ԿԱԶՄԸ ԵՎ ՆՐԱՆՑ ՄԵՋ ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ ԵՎ ՑՐՎԱԾ ՏԱՐՐԵՐԻ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՕՐԻՆԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ամփոփում

Հոդվածում բերվում է հանքանյութերի միներալային կազմի նկարագրությունը։ Նշվում է, որ հանքավայրի հանքանյութերի համար բնորոշ են տելուրի միներալները, որոնք հանդիպում են ոչ մեծ քանակություններով, համեմա-

տաբար փոքր, բայց լայն տարածում ունեցող անջատումների ձևով։ Նկարագրվում են միներալային պարագենետիկ ասոցիացիաները և նրանց փոխհարաբերությունները։

Քանակական սպեկտրալ անալիզի արդյունքների հիման վրա քննարկվում են հազվագյուտ և ցրված տարրերի տեղաբաշխման օրինաչափությունները գլխավոր հանքառաջացնող միներալներում։

Շահումյանի հանքավայրի հանքանյութերում խառնուրդ-տարրերի լայն սպեկտրը և տելուրի, կադմիումի, անագի համեմատաբար բարձր պարունակությունները հետաքրքրություն են ներկայացնում հանքանյութերի կոմպլեքս օգտագործման համար։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асланян Л. С., Амбарцумян Г. А.* Особенности структуры Шаумянского месторождения. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 4, 1972.
2. *Ачикгезян С. О.* Об околожильных изменениях рудовмещающих кварцевых андезито-дацитов на Шаумянском золото-полиметаллическом месторождении. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1, 1975.
3. *Добровольская М. Г., Коджоян А. А., Цепин А. И.* Теллуриды в рудах Шаумянского месторождения. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1, 1974.
4. *Зарьян Р. Н.* Формы нахождения селена и теллура в рудах Кафанского месторождения. Геохимия, № 3, 1962.
5. *Зограбян С. А.* Эксплозивные брекчии кварцевых андезито-дацитов Кафанского месторождения. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле. № 6, 1971.
6. *Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Фарамазян А. С., Амирян Ш. О., Карапетян А. И., Пароникян В. О., Зарьян Р. Н., Меликсетян Б. М., Акопян А. Г.* Редкие и благородные элементы в рудных формациях Армянской ССР. Изд-во АН Арм. ССР, Ереван, 1972.
7. *Хачатурян Э. А.* Алтаит и петцит в рудах Кафанского месторождения. ДАН Арм. ССР, т. XXVI, № 3, 1958.