

УДК 550 422

Ш. О. АМИРЯН, Г. А. ТУНЯН

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД ТЕЙСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Тейское месторождение золото-сульфидных руд входит в Айгедзор-Личквасское рудное поле и составляет один генетический ряд с известными медно-молибденовыми, молибденовыми и полиметаллическими месторождениями, которые генетически связаны с верхнетретичным интрузивным магматизмом.

Район Тейского месторождения сложен интрузивными образованиями Мегринского плутона и прорванными ими порфиритами, сохранившимися в виде обособленных останцев в различных участках рудного поля. Описанные породы пересекаются жилами диорит-порфирита, гранодиорит-порфирита, керсантита и аплита.

Слагающие месторождение породы в значительной степени изменены: окварцованы, серицитизированы, хлоритизированы, эпидотизированы и альбитизированы. Наиболее интенсивные изменения пород наблюдаются вдоль зон брекчирования и расланцевания северо-восточного простирания. Нахождение рудных жил и вкрапленной минерализации в зонах гидротермального изменения свидетельствует о прямой связи рудной минерализации с процессами прерудного гидротермального метаморфизма пород. Прерудный этап гидротермального изменения пород выражен эпидотизацией, альбитизацией, окварцеванием и пиритизацией, нередко имеющих площадное развитие. К гидротермальным изменениям относятся также небольшие прожилки стеллерита, обнаруженные К. А. Карамяном [2].

Неомотря на то, что Тейское месторождение с Айгедзорским и Личквасским составляет один генетический ряд, все же оно отличается от последних минеральным составом и геохимическими особенностями руд, что дает основание образование Тейского месторождения связывать с более поздними периодами развития магматизма и металлогении района.

Если преобладающими парагенезисами минералов на Личквасском месторождении являются кварц-пиритовая (с небольшими примесями калькопирита, сфалерита и галенита) и кварц-карбонат-полиметаллическая, а на Айгедзорском — медно-молибденовая, то на Тейском месторождении к отмеченным ассоциациям прибавляется также кварц-карбонат (анкерит) — арсенопиритовая (с небольшими примесями пирита, сфалерита, халькопирита и галенита). При этом молибденовая минерализация здесь имеет резко подчиненное значение, а в пирит-халькопиритовых рудах халькопирит встречается наравне с пиритом или даже преобладает над пиритом. Кроме того, в отмеченной ассоциации, на

Тейском месторождении были определены [1] довольно часто встречающиеся выделения висмутовых минералов (висмутина, козалита и редко тетрадимита и теллуровисмутита), в связи с чем в этих рудах наблюдается довольно высокое содержание вимута.

Если промышленная концентрация золота и серебра на Личквасском месторождении связана в основном с полиметаллическими рудами, то на Тейском — кроме полиметаллических руд, она связана также с кварц-анкерит-арсенопиритовым типом руд.

Наблюдения над рудными телами и анализ возрастных взаимоотношений рудных жил различного минерального состава и их геохимических особенностей показывают, что как на других золоторудных месторождениях, так и здесь рудообразование происходило в результате нескольких стадий минерализации. Продукты этих стадий отличаются друг от друга минеральным составом, приуроченностью к самостоятельным трещинным структурам и геохимическими особенностями.

В кварцевую стадию происходит вынос кварца из вмещающих пород, который совместно с привнесенным гидротермальными растворами кремнеземом образует небольшие жилы и прожилки в зонах брекчирования и смятия пород. В кварцевых жилах нередко встречаются небольшие включения рудных минералов — пирита, халькопирита, сфалерита и редко галенита и молибденита. Возможно, они образовались наложением следующих порций гидротермальных растворов. В таких жилах концентрация рудных элементов составляет сотые и тысячные доли процента.

В пирит-халькопиритовую стадию образуются прожилки и жилы северо-восточного простирания, а также зоны вкрапленной минерализации. В составе пирит-халькопиритовых руд участвуют пирит, халькопирит (преобладающие), галенит, сфалерит, теннантит, тетраэдрит, висмутин, козалит, тетрадимит, теллуровисмутит, виттихенит, золото, пирротин, кварц, кальцит и анкерит.

В таблице 1 приводятся средние содержания главных рудообразующих элементов в минералах, концентратах и рудах пирит-халькопиритовой стадии.

Данные, приведенные в этой и следующих таблицах получены с учетом распределения элементов по определенным спектральным баллам в процентах по формуле:

$$C_m^e = \frac{\sum a \cdot n}{100} \% \text{ или развернуто}$$

$$C_m^e = \frac{a_{0,0003} \cdot n_{0,0003} + a_{0,001} \cdot n_{0,001} + a_{0,003} \cdot n_{0,003} + \dots}{100} \%$$

где C_m^e — среднее спектральное содержание элемента (e) в данной пробе, n — частота встречаемости элемента в определенных спектральных баллах в процентах (к сожалению, частоты здесь не приводятся, вследствие ограниченной возможности журнала), a — спектральные баллы.

Таблица 1

Среднее содержание элементов в рудах, концентратах и минералах пирит-халькопиритовой стадии минерализации по полуколичественным спектральным анализам

Наименование продуктов	Количество проб	Э л е м е н т ы											Элементы, г/т		
		Mo	Cu	Pb	Sb	As	Zn	Bi	Cd	Se	Te	Ga	Ge	Au	Ag
Пирит-халькопиритовая руда	11	0,013	3,96	0,61	0,015	0,062	1,45	0,09	0,013	0,0012	0,0029	0,0023	0,001	1,82	300,4
Пирит-халькопиритовый концентрат	8	0,012	5,12	0,97	0,024	0,24	3,28	0,14	0,023	0,0061	0,0044	0,001	0,00015	3,75	348,0
Пирит	9	—	1,19	0,13	0,01	0,10	0,370	0,066	0,0023	0,0025	0,0048	0,0007	—	6,7	90,0
Халькопирит	5	—	10	0,21	0,08	0,24	1,24	0,15	0,0018	0,0042	0,0016	0,00066	0,00006	12	340
Сфалерит	4	—	6,5	4,75	0,98	1,82	10	0,06	1,0	0,0004	0,0002	0,00065	—	55	1575

1. Данные для Se и Te по химическим анализам. Для остальных редких и рассеянных элементов данные химических анализов близки к данными спектральных анализов.

Таблица 2

Среднее содержание элементов в продуктах полиметаллической стадии минерализации по полуколичественным спектральным анализам

Наименование продуктов	Количество проб	Э л е м е н т ы %											Элементы, г/т		
		Mo	Cu	Pb	Sb	Bi	As	Zn	Cd	Ga	Ge	Se	Te	Au	Ag
Полиметаллическая руда	9	0,025	5,47	7,38	0,24	0,06	0,37	8,82	0,35	0,0013	0,00002	0,00172	0,0012	110	1914
Полиметаллический концентрат	6	0,0005	5,59	9,41	0,74	0,11	0,78	>10	0,42	0,0003	—	0,0043	0,00412	562,8	10
Пирит	5	—	2,46	0,62	0,186	0,052	0,46	1,39	0,013	0,0003	—	0,0048	0,0038	66	130
Халькопирит	2	—	>10	1,00	0,45	0,01	0,48	>10	0,03	0,0003	—	0,0016	не обн.	20	1000
Сфалерит	7	—	3,19	2,57	0,42	0,016	1,88	>10	1,00	0,0007	—	0,0017	0,0012	72,8	370,8
Галениг	6	—	1,516	10	0,35	0,243	0,32	9,40	0,0535	0,00005	—	0,0063	0,0017	21,6	1006,6
Блеклая руда	3	—	>10	6,5	10	0,047	>10	>10	0,617	0,0013	0,00067	—	—	20,3	23300

Σ , — сумма всех средних значений спектральных баллов.

Из таблицы I видно, что пирит-халькопиритовые руды характеризуются высоким и повышенным содержанием меди, цинка, железа, молибдена, свинца, сурьмы, мышьяка, серебра и висмута.

Повышенное содержание висмута и серебра, как и остальных элементов, обусловлено нахождением в рудах собственных минералов и минералов концентратов. Золото в этом типе руд находится в виде редких включений, чем и обусловлена его низкая концентрация. По 10 пробирным анализам содержание золота в пирит-халькопиритовых рудах составляет 2,05 г/т, а серебра—74,34 г/т. Золото-серебряное отношение в отмеченном типе руд (по пробирным анализам) довольно низкое и составляет 1:36, что является результатом слишком низкого содержания золота. Концентрация золота возрастает в следующих стадиях рудного процесса, поэтому золото-серебряное отношение (Au:Ag) повышается в полиметаллических рудах до 1:6. Концентрация золота в этих рудах по сравнению с пирит-халькопиритовыми возрастает в 33 раза, а серебра — 5,5 раз. В арсенопиритовых рудах золото-серебряное отношение имеет более высокое значение (Au:Ag=1:1,5), чем в полиметаллических, что связано с сохранением концентрации золота и понижением серебра почти в четыре раза по сравнению с полиметаллическими рудами. В среднем, золото-серебряное отношение для всех типов руд, по данным опробования двух горизонтов, составляет 1:8.

Содержание селена в пирит-халькопиритовом типе руд составляет 12—17 г/т, теллура—26—32 г/т. Содержание галлия, германия и индия в них низкое и колеблется в пределах 1—3 г/т. Из редких элементов только кадмий характеризуется несколько повышенным содержанием, что составляет 70—80 г/т.

Пирит-халькопиритовые руды характеризуются высоким содержанием висмута. По химическим анализам оно составляет 250—270 г/т, а по спектральным анализам еще больше — 900 г/т. Высокие содержания висмута обусловлены наличием висмутовых минералов. Концентрация отмеченных элементов несколько повышается в пирит-халькопиритовом концентрате и мономинеральных пробах, при этом селен в основном связан с халькопиритом и пиритом как преобладающими сульфидами, а теллур кроме них, также — с тетрадимитом и теллуrowисмутитом, которые в виде микроскопических выделений встречаются в полях пирита и халькопирита, в ассоциации висмутита и козалита. Галлий, германий, индий и кадмий в основном связаны со сфалеритом, халькопиритом и менее—с пиритом. Обогащенность сульфидов висмутом обусловлена приуроченностью висмутовых минералов к их агрегатам. Таким образом, форма проявления селена, галлия, германия, индия и кадмия изоморфная, а висмута, теллура и серебра кроме того—минеральная. Золото представлено только в виде самородных частиц.

Пирит-халькопиритовые руды представляют практический интерес для меди, висмута, кадмия и серебра, а совместно с другими типами руд, также для золота.

В полиметаллическую стадию минерализации образуются основные промышленные жилы месторождения. Жилы имеют четковидный характер и прослеживаются на несколько сот метров по простиранию и на глубину. Жилы находятся в зонах смятия и брекчирования пород.

Полиметаллические руды сложены главным образом кварцем, кальцитом, пиритом, сфалеритом, халькопиритом, теннантитом, тетраэдритом, галенитом и золотом. В редких случаях вдоль кварцевых и полиметаллических жил наблюдаются тонкие примазки молибденита.

В таблице 2 приводится характер распределения рудогенных элементов в минералах, концентратах и рудах полиметаллической стадии минерализации. Из приведенных в таблице данных следует, что в этом минеральном типе руд высокими и повышенными концентрациями представлены железо, медь, свинец, цинк, мышьяк, сурьма, золото и серебро, которые образуют собственные минералы. Остальные же элементы образуют примесь в главных рудных и жильных минералах.

Полиметаллические руды по содержанию благородных и редких элементов несколько отличаются от других типов руд. По пробирным анализам семи проб, содержание золота в полиметаллических рудах составляет 65,95 г/т, а серебра — 412,7 г/т. Основная часть золота в них представлена самородными тонкодисперсными частицами, а серебро представлено в главных рудообразующих минералах, где оно образует довольно высокие концентрации. В теннантите и тетраэдрите концентрация серебра по спектральным анализам составляет 23 кг/т, в галените и халькопирите более одного кг/т.

По содержанию серебра (в сторону повышения) главные минералы полиметаллических руд располагаются в такой ряд: пирит, сфалерит, халькопирит, галенит и блеклые руды. Интересно отметить, что приведенный ряд соответствует последовательности выделения перечисленных в нем минералов, т. е. концентрация серебра повышается по мере понижения температуры растворов. Отмеченная закономерность с некоторыми исключениями характерна для всех рудоносных стадий и всего рудного процесса в целом.

В распределении золота в минералах определенную роль играют количественное проявление минералов, время их выделения из растворов и физико-химические свойства. Золото из растворов выделялось после всех сульфидов, в виде самородных частиц и накладывалось на все ранее выделенные минералы. Следовательно, в тех минералах, которые преобладают в рудах, больше будет осаждаться частиц золота, тем самым повышая в них общую концентрацию. Возможно, в осаждении золота из растворов некоторую роль играли механические и химические свойства сульфидов. Как видно из таблиц, в рудах и концентратах больше золота, чем в минералах, что объясняется нахождением золота в рудах в самородной и свободной форме.

Общей закономерностью для золота является тяготение его к сред-

ним и поздним рудным стадиям рудного процесса, а в них — к концу каждой отдельной стадии.

Полиметаллические руды отличаются от других также по содержанию редких и рассеянных элементов. В этом типе руд содержание висмута несколько ниже, чем в пирит-халькопиритовом. Это связано с тем, что висмутовые минералы встречаются только в последнем типе руд. По сравнению же с арсенопиритовыми рудами, полиметаллические содержат больше висмута, так как основные концентраты висмута (галенит, пирит, блеклые руды и др.) в больших количествах проявляются в этом типе руд.

В полиметаллических рудах, в связи с преобладанием в них сфалерита — основного концентрата кадмия, индия и галлия, по сравнению с другими типами, наблюдаются более высокие содержания отмеченных элементов. При этом в светлых разностях сфалерита, по сравнению с темными, наблюдается высокое содержание кадмия и ртути и низкое — галлия, индия и железа. В коричневых и красноватых разностях выше концентрация индия, олова и галлия, а в темных — железа, марганца, меди, мышьяка и свинца.

Концентрации селена и теллура в описанных рудах имеют такие же величины, как и в пирит-халькопиритовых, несмотря на то, что в последних были встречены небольшие выделения тетрадимита и теллуrowисмутита. Среди минералов полиметаллических руд повышенные содержания селена и теллура установлены в пирите (48,3 г/т и 38 г/т соответственно), а за ним следуют галенит (62,5 г/т, 417 г/т), сфалерит (16,6 г/т и 12 г/т) и халькопирит (16 г/т и не обн.). В полиметаллическом концентрате содержание селена и теллура составляет около 30 г/т.

Таким образом, по содержанию редких и благородных элементов полиметаллический тип руд представляет наибольшую ценность.

Пирит-халькопиритовые и полиметаллические руды замещаются и цементируются агрегатами низкотемпературного арсенопирита и анкерита, которые совместно с золотом и небольшими скоплениями мелкозернистого халькопирита, галенита, пирита и сфалерита образуют прожилки, жилы и гнезда в тех же зонах, в каких находятся пирит-халькопиритовые и полиметаллические жилы. Описанная ассоциация минералов является продуктом кварц-карбонат-арсенопиритовой стадии минерализации, которая отличается от других минеральным составом, приуроченностью к самостоятельным трещинам и геохимическими особенностями (табл. 3).

По содержанию благородных элементов арсенопиритовые руды являются вторым промышленным типом. По пробирным анализам (5 проб) в арсенопиритовых рудах определено: золото—63,4 г/т, серебро—97,8 г/т. Концентрация серебра в арсенопиритовых рудах по сравнению с полиметаллическими понижается в несколько раз, что вызвано слабым распространением в этих рудах основных носителей серебра — блеклых руд, галенита и халькопирита. В преобладающем минерале стадии — арсенопирите, содержание серебра составляет 300 г/т. По данным спек-

Таблица 3

Среднее содержание элементов в продуктах полиметаллической стадии минерализации по полуколичественным спектральным анализам

Наименование продуктов	Количество проб	Э л е м е н т ы %											Элементы, г/г		
		Mo	Cu	Pb	Sb	Bi	As	Zn	C	Ga	Ge	Se	Te	Au	Ag
Арсенопиритовая руда	4	0,0035	1,58	0,76	0,087	0,043	9,13	4,075	0,033	0,002	0,00008	0,0008	0,0019	130	288
Арсенопиритовый концентрат	5	0,001	1,13	0,94	0,41	0,148	>10	2,28	0,104	0,0011	0,00009	0,0032	0,0034	306	313
Арсенопирит	6		1,20	1,01	0,109	0,113	>10	3,24	0,223	0,001	—	0,0033	0,011	933	312
Пирит	3		0,443	0,098	0,003	0,020	0,77	0,23		0,0004	—	—	—	6,7	76
Халькопирит	1		>10	0,3	0,3	0,01	0,3	0,65	0,01	0,0003	—	не обн.	не обн.	—	300
Сфалерит	1		3	<3	0,1	0,1	3	>10	1	0,0003	—	—	—	10	650
Галенит	1		0,3	>10	0,1	0,65	0,65	>10	0,03	—	—	—	—	20	1000

трального анализа, сульфиды этой стадии бедны также золотом. Самое высокое значение (993 г/т) содержания золота по шести анализам наблюдается у арсенопирита, что связано с широким распространением последнего и близко одновременным выделением их из раствора. Помимо этого в осаждении золота из гидротермальных растворов минералы мышьяка по сравнению с другими (в силу своих химических свойств) наделены более сильными осаждающими свойствами. По мере последовательности выделения минералов в них повышается концентрация золота, как это следует из таблицы 3. Аналогичная закономерность наблюдается также для серебра.

Висмут в арсенопиритовых рудах также характеризуется высокой концентрацией (до 140 г/т). В среднем в них содержится 100 г/т висмута. Обогащенность руд висмутом является особой геохимической чертой магматизма, с которым генетически связано оруденение.

Арсенопиритовые руды бедны селеном и теллуром. Их содержание соответственно составляет 5—10 г/т и 16—40 г/т (по 6 анализам). Содержание галлия и германия в них составляет 1—2 г/т, индия—3—5 г/т, а кадмия — 160 г/т. Как видно, арсенопиритовые руды представляют интерес по содержанию золота, серебра, висмута и кадмия.

В заключение следует отметить, что руды Тейского месторождения золото-сульфидных руд характеризуются высокими и повышенными концентрациями железа, меди, цинка, свинца, мышьяка, сурьмы, висмута, золота, серебра, селена и теллура.

Концентрация железа, меди и цинка высокая во всех типах руд, особенно в полиметаллических. Свинец дает высокие содержания в рудах полиметаллической стадии минерализации, в остальных наблюдается повышенное содержание свинца. Концентрация сурьмы повышается в продуктах полиметаллической стадии, а мышьяка — арсенопиритовой.

Благородные элементы с промышленной концентрацией проявляются в рудах, концентратах и минералах полиметаллической и арсенопиритовой стадий минерализации, при этом в отдельных стадиях с понижением температуры образования минералов концентрация золота и особенно серебра повышается. Концентрация висмута от пирит-халькопиритовых руд к арсенопиритовым понижается. Высоким и повышенным содержанием кадмия характеризуются полиметаллические и пирит-халькопиритовые руды. Галлий и германий характеризуются почти одной и той же (пониженной) концентрацией во всех типах руд, что говорит скорее всего о связи этих элементов с нерудными минералами; сказанное подтверждается еще и тем, что в рудах, по сравнению с концентратами и минералами, больше галлия и германия. Селен и теллур повышенными концентрациями представлены в пирит-халькопиритовых и полиметаллических рудах.

Շ. Ն. ԱՄԻՐՅԱՆ, Կ. Ա. ԹՈՒՆՅԱՆ

ԹԵՅԻ ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ՄԻՆԵՐԱԼ-
ԳԵՈԳՆՈՒԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Ա մ փ ո ս փ ո ս մ

Թեյի հանքավայրը գտնվում է Այգեձոր-Հիճրվալի հանքադաշտի սահմաններում և առաջացման պայմաններով կապված է վերին երրորդական ինտրուզիվ մագմատիզմի հետ:

Հանքայնացման պրոցեսները ընթացիկ են մի շարք հաջորդական ստադիաներով՝ քվարցային, պիրիտ-խալկոպիրիտային, բազամետաղային, քվարց-արսենոպիրիտային և քվարց-կարբոնատային:

Հանքամարմինները՝ երակները և երակիկացանային դոնաները հարում են ապարների բեկորատման դոտիներին, որտեղ հանք պարունակող ապարները ենթարկվել են հիդրոթերմալ փոփոխման:

Թեյի հանքանյութերը բնորոշվում են երկաթի, պղնձի, ցինկի, կապարի, մկնդեղի, ծարիրի, բիսմութի, ոսկու, արծաթի, սելենի, և տելուրի բարձր պարունակությամբ:

Երկաթի, պղնձի և ցինկի կոնցենտրացիան բարձր է հանքանյութերի բոլոր միներալային տիպերում հատկապես՝ բազամետաղայինում: Կապարը և ծարիրը բարձր պարունակությամբ հանդես են գալիս բազամետաղային, իսկ մկնդեղը արսենոպիրիտային հանքանյութերում:

Ազնիվ մետաղները արդյունաբերական կուտակումներ են առաջացնում բազամետաղային և արսենոպիրիտային հանքանյութերում: Առանիձն ստադիաներում միներալների առաջացման ջերմաստիճանի նվազեցման հետ միասին ոսկու և արծաթի կոնցենտրացիան բարձրանում է: Ոսկու և արծաթի հարաբերությունը ամբողջ հանքավայրի համար հավասար է՝ 1:8: Ոսկու և արծաթի հարաբերության փոփոխությունը բարձր ջերմաստիճանային հանքանյութերից դեպի ցածր ջերմաստիճանայինները պայմանավորված է ոսկու պարունակության աճով: Ոսկին հանքանյութերում ներկայացված է բնածին ոսկու միկրոսկոպիկ, չափազանց մանր հատիկների ձևով:

Բիսմութի պարունակությունը պիրիտ-խալկոպիրիտային հանքանյութերից դեպի արսենոպիրիտայինը նվազում է, կազմիումի բարձր պարունակությամբ են բնորոշվում բազամետաղային և պիրիտ-խալկոպիրիտային հանքանյութերը: Գալիումը և դերմանիումը բոլոր հանքանյութերում էլ բնորոշվում են նույն պարունակությամբ, որը խոսում է նրանց կապի մասին ոչ հանքային միներալների հետ: Սելենով և տելուրով հարուստ են պիրիտ-խալկոպիրիտային և բազամետաղային հանքանյութերը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амирян Ш. О. Некоторые новые данные по минералогии и геохимии руд Личквасского золоторудного месторождения. Изв. АН Арм. ССР. Науки о Земле, № 6, 1966.
2. Карамян К. А. Стеллерит из Теиского золото-полиметаллического месторождения. Докл. АН Арм. ССР, т. XLV, № 1, 1967.
3. Фирсов Л. В. К вопросу о методике обработки данных количественного спектрального анализа минералов и горных пород. Тр. ВНИИ-1, Геология, т. XIV, 1959.