

Полиелементни (с As, Sn, V, Bi, Ag, Te, Ge, Se и др.) минерализации в меднопорфирното находище Асарел

Р. Петрунов, П. Драгов, Хр. Нейков

Геологически институт, БАН, 1113 София

R. Petrunov, P. Dragov, H. Neykov—*Polyelemental (with As, Sn, V, Bi, Ag, Te, Ge, Se, etc.) mineralizations in Assarel porphyry copper deposit.* The deposit is located in Panagjurište ore zone (part of Srednogorie metallogenic zone) known mainly with Late Cretaceous copper deposits. Porphyry copper ores were formed in secondary quartzites related to Late Cretaceous intermediate volcanic and subvolcanic rocks. Pyrite and chalcopyrite dominate in the major ore mineral assemblage. The quartz-sphalerite-galena assemblage is later and poorly developed.

In the beginning of the ore mineralization process small oval inclusions of pyrrhotite, chalcopyrite, native gold, calaverite (?) and bornite formed in pyrite. This partial mineral assemblage, named here copper-gold-tellurium, was formed in a reducing environment. In a medium of higher oxidation potential, developed the other partial assemblage — arsenic-tin-bismuth-tellurium (with lead, vanadium and germanium). It is represented by small impregnations and veinlets formed of enargite, digenite, goldfieldite (Pl. 1), aikinite (Nos 1-5 in Pl. 3), colusite (Pl. 2), arsenosulvanite (Pl. 2), sulvanite (Pl. 2), galena and wittichenite (Pl. 3). Coarse-grained, mainly quartz-chalcopyrite veins were formed towards the end of the ore mineralization event as a result of mobilization and redeposition. They contain also selenium-bearing galena (No 10 in Pl. 3) and aikinit (Nos 6, 7 in Pl. 3) and hessite (copper, silver, bismuth-tellurium partial association).

Within Panagjurište ore zone, massive copper-pyrite ores are typical of the polyelemental ore mineralizations while porphyry copper ones show a poorer mineral and metal composition. We suggest that insignificant amounts of copper pyrite ore were formed in the beginning. They were mobilized by the solutions of the porphyry copper mineralization and their components — dispersed or only partially redeposited.

Увод

Най-пълна минераложка характеристика на меднопорфирното находище Асарел (Панаяурска рудна зона) е дадена от Богданов и Богданова (1981). Нашите данни са ограничени — ние разполагаме само с ядки от сондажи, които са прокарани в западната и централната част на находището през 1988 г. Сондажите са плитки, само три от тях достигат контура на промишлените първични руди. Част от нашите материали са взети и от експлоатиранияте плитки за посочената година нива. Ние потвърждаваме в основни линии установените от Богданов и Богданова (1981) минерални парагенези и парагенетични последователности, даваме някои уточнения и установяваме следните нови за находището ендеогенни минерали: пиротин, макиноуит, енаргит, колусит, сулванит, арсеносулванит, голдфилдит, калаверит (?), хесит, айкинит, витихенит, дигенит и марказит, а също и наличие на селенсъдържащи айкинит и галенит. Тези минерали оформят три пространствено и по време обособени частни минерални парагенези, които са предмет на това изследване: мед-злато-телурова, арсенкалай-бисмут-телурова с олово, ванадий и германий и мед-сребро-бисмут-телурова с олово и селен. Супергенните минерали не са предмет на внимание.

Методи

Сондажите са прокарани по мрежа 100×100 m, отчасти 50×50 m. Проби са взети от местата с рудна минерализация. Светлинна микроскопия е извършена върху 120 ашлива. За геохимични цели са използвани: пълен полуколичествен спектрален анализ на 17 мономинерални проби, атомноабсорбционен количествен анализ на 13 мономинерални проби за Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Fe, Mn, Sb, Bi, Cd, Ga, Ag и Tl и неутронно активационен анализ на 17 мономинерални проби за Au, As и W. Пробите са от пирит (12 бр.), халкопирит (3 бр.), галенит (1 бр.) и сфалерит (1 бр.). Химическите състави на минералите са определяни с микросондови анализи. Използуван беше микроанализатор JEOL „Superprobe-733“, снабден с EDS-система EC&G ORTEC „System 5000“. При извършване на количествените анализи беше прилаган безстандартният метод на Gedcke et al. (1982). Работните параметри бяха: ускоряващо напрежение 25 kV, ток на лъча 1 nA.

Статистическата грешка на измерванията при електронно-сондовия микроанализ е изчислявана в зависимост от времето на измерване (между 100 и 200 s), интензитета на максимумите и фона, припокриването на пиковите и пр. Тяхната оценка (в тегл. %) е в следните граници: S 0,10—0,20; V, Fe, Cu и Zn 0,05—0,15; Sn, Sb и Te 0,11—0,30; Pb и Bi 0,60—1,00; As 0,15—0,35; Ge 0,13—0,20. Показаните в таблиците представителни химични анализи на отделните минерали са само част от всички извършени анализи.

Общи сведения за минералните парагенези

Богданов и Богданова (1981) определиха осем ендеогенни минерални парагенези: три предрудни (фелдшпат-биотит-магнетитова; кварц-серицит-алунитова и кварц-фелдшпатовата), три рудни (кварц-пирит-халкопиритова, кварц-сфалерит-галенитова и кварц-пиритова жилна) и две следрудни (анхидрит-гипсова и зеолитова). Основно промишлено значение има кварц-пирит-халкопиритовата парагенеза. Ние потвърждаваме наличието на тези парагенези и смятаме за необходимо да внесем следните уточнения и допълнения.

Процесите на предрудни хидротермални изменения приключват с формиране на магнетит-илменит-хематитова парагенеза. Тя изгражда тънки до 0,5 cm жилки в пукнатини сред вторични кварцити. Най-напред е образуван магнетит (дребнозърнест, с квадратни прерези). Следващият минерал е дребнолюспест илменит. Част от илменитовите люспи се включват в периферните зони на магнетитовите зърна. Това явление не се дължи на отсмесване, а означава, че началото на образуване на илменита съвпада с края на образуване на магнетита. Накрая се образуват хематитови люспи, във връзка с което част от илменитовите люспи се рутилизират. Тази последователност означава, че в края на предрудния процес окислителният потенциал на средата се увеличава. Контрастът с условията на образуване на следващата (кварц-пирит-халкопиритова) парагенеза е голям — тя започва с отлагане на пирит и пиротин, което издава редуцираща среда. Не може да се говори за единно физико-химично развитие на предрудните и рудните процеси.

Между рудните минерални парагенези преобладава количествено първата от тях — кварц-пирит-халкопиритовата. Тя дава облика на известната впръслечно-жилкова (меднопорфирна) минерализация. Минералната последователност според Богданов и Богданова (1981) е: пирит → пирит + халкопирит → пирит + халкопирит + бравоит + тетраедрит + тенантит + борнит + молибденит + зигенит + самородно злато. Тук са необходими някои допълнения.

Във вътрешните части на пиритовите кристали често са образувани дребни овални включения, които се състоят от пиротин, халкопирит, пиротин + халкопирит, халкопирит + макиноуит, борнит, дигенит, халкопирит + борнит, халкопирит + калаверит + самородно злато (табл. I, 4) и само от самородно злато. В този смисъл може да се го-

вори за наличие на частна парагенеза от желязни, медни, златни и телурови минерали, която означаваме като мед-злато-телурова. Тя е образувана в началото на рудния минерализационен процес.

С типична жилково-впръслена текстура се отличава и друга частна минерална парагенеза, означена тук като арсен-калай-бисмут-телурова (с Pb, V и Ge). Тя се състои от пирит, енаргит, колусит, дигенит, арсеносулванит, сулванит, голдфилдит, айкинит, витихенит, галенит, барит и кварц. Характерно е, че в местата на нейното образуване отсъствува халкопирит, т. е. тя е образувана вместо халкопирит в условия, в които халкопиритът е бил неустойчив.

Формирането на главната рудна (кварц-пирит-халкопиритова) парагенеза приключва с явления на мобилизация и преотлагане. Образуват се едро- до грубозърнести кварц-пирит-халкопиритови с малко сфалерит и дигенит жилки, сред които са отложени агрегати от друга частна парагенеза — мед-сребро-бисмут-телурова (с Pb, Zn и Se), изградена от финозърнести хесит и селенсъдържащи айкинит и галенит. Към явленията на преотлагане трябва да се отнесе и обрастването на част от пиритовите кристали от марказит и кобалтсъдържащ пирит.

За по-късните рудни и следрудни минерални парагенези с нови данни не разполагаме.

За геохимичната характеристика на главните рудни минерали разполагаме със следните данни, част от които съвпадат с данните на Богданов и Богданова (1981).

В пирита от главната рудна минерална парагенеза присъствуват постоянно Co (от 5 до 125 g/t) и Ni (от 1 до 28 g/t). Очертава се постоянна пропорция — от 5:1 до 6:1. Съдържанието на As е ниско — до 3,5 g/t. Sb отсъствува. Zn и Ga присъствуват постоянно — съответно от 3 до 326 и от 12 до 75 g/t, но без забележима корелация. Au присъствува постоянно в количество от 0,03 до 3,8 g/t. Редица елементи — Cu, Mo, Bi, Pb и др., дължат присъствието си на механични минерални включения.

В халкопирита, който не е включен в арсен-калай-бисмут-телуровата и мед-сребро-бисмут-телуровата частна парагенеза, присъствува постоянно Zn от 19 до 593 g/t, но сфалеритови отсмесвания не се установяват. По-високите цинкови съдържания се корелират с по-високи кадмиеви съдържания (до 5 g/t). Отсъствуват In и Ge, в две от пробите се установяват 15 и 24 g/t Ga. Au не се установява, волфрамът е между 7 и 20 g/t, кобалтът — до 20 g/t, среброто — между 10 и 30 g/t, спорадично се установяват ниски съдържания на Pb (до 80 g/t), Bi (до 10 g/t) и Sn (до 6 g/t).

Галенитът от кварц-сфалерит-галенитовата парагенеза съдържа (една проба, в g/t): 880 Ag, 10,5 Au, 30 Sb, 30 Ga, 6 Bi и други, дължащи се на механични примеси. Сфалеритът от същата парагенеза съдържа (по един анализ, в тегл. %): Fe 0,36, Cd 0,49, Cu 0,19 и (в g/t) Mn 88, Ga 79, Ge 10, Ag 30, Sn 10 и Au 0,9.

Мед-злато-телурова частна парагенеза

Дребните овални включения в пирита от главната рудна парагенеза, в състава на които участвуват пиротин, халкопирит, борнит, дигенит, макиноуит, злато и златни телуриди, са с диаметър до 10 μm и микросондовите анализи най-често дават полуколичествени данни. В златно включение с диаметър 4 μm се установяват 2,71 тегл. % Fe. Сребро не се установява. Златният телурид, посочен в табл. I, 4, е с дължина 3 и с дебелина до 0,8 μm . За да се изключи влиянието на съседния халкопирит, анализът е направен в съседство с пирита. Установяват се само Au и Te, поради което го определяме като калаверит (?). За останалите минерали в тази частна парагенеза разполагаме и със светлинно-оптически определения. Участието на пиротин подсказва отрицателна валентност на телура. Възможно е в парагенезата да участвуват и други телуриди.

Арсен-калай-бисмут-телунова (с Pb, V и Ge) частна парагенеза

Минералите в тази частна парагенеза са фино- до дребнозърнести. Агрегатите им изграждат дребни гнезда и жилки из вторични кварцити, срещат се и монокристални впръслели. Количествено преобладават енаргит, дигенит, колусит, арсеносулванит и барит.

Енаргитът е представен от идиоморфни плочести впръслели и алотриоморфни агрегати. Често съдържа включения от пирит, айкинит и голдфилдит, заедно с които е образуван в началото на частната парагенеза. С микросондови анализи са определени следните крайни състави: $\text{Cu}_{2,08}\text{As}_{1,05}\text{S}_{3,97}$ и $\text{Cu}_{2,04}\text{As}_{1,03}\text{S}_{4,03}$.

Дигенитът образува само финозърнести алотриоморфни впръслели. С един анализ е определена формулата $\text{Cu}_{1,849}\text{Fe}_{0,002}\text{S}$. В циментационната зона заедно с ковелин по дигенита се развива и анилит (?) (анизотропен, с решетъчен строеж и състав $\text{Cu}_{1,716}\text{S}$).

Айкинитът образува дребни алотриоморфни включения в енаргит, дигенит и кварц. Често се замества от витхенит (табл. I, 5, и анализи № 1—5 в табл. 3).

Голдфилдитът образува дребни алотриоморфни включения в енаргит, идиоморфни кристалчета сред нерудна маса (табл. I, 3) или замества колусит (табл. I, 1). Както личи от фигурите, той не се отличава със зонален строеж, но съставите на отделни зърна варират в широки граници (табл. 1). В един случай във връзка с образуването на по-късен барит (табл. I, 3) периферията му се обогатява с Bi и Zn (№ 5 в табл. 1). Формулите към табл. 1 са определени на база 13 серни атома.

Колуситът се образува като идиоморфни кристалчета в началото на процеса сред кварц (табл. I, 1 и 2) или пирит. Той се замества частично от арсеносулванит, сулванит, голдфилдит и галенит (същите фигури). Установяват се малки вариации в съдържанието на Fe, отчасти Zn и Sn (табл. 2). Формулите към табл. 2 са на база 32 серни атома (Ogata and I et al., 1981; К о в а л е н к е р и др. 1986) и до 2 формулни единици Fe+V.

Арсеносулванитът замества колусит или изгражда жилки в нерудна маса заедно със сулванит и голдфилдит (табл. I, 1 и 2). Съставът му е зонален или мозаичен (същите фигури). Както личи от табл. 2, най-силно варират съдържанията на Ge, Sn, Fe и Sb. При зоналните кристали измененията на съставите са незакономерни. Формулите към табл. 2 са на същата база, както при колусита.

Сулванитът се установява като включения в арсеносулванита, които не са привързани към зоните в зоналните кристали (табл I, 1 и 2). В отделните зрънца варират съдържанията на всички елементи (табл. 2), но е възможно в № 13 да има влияние от включващия арсеносулванит.

Таблица 1

Състави на голдфилдит по данни от електронно-сондови микроанализи (в тегл. %)

№	Cu	Zn	Bi	Fe	Sb	As	Te	S
1	42,29	0,00	0,00	0,52	2,15	2,17	25,52	27,18
2	43,33	0,33	3,01	0,22	1,88	5,29	19,80	26,00
3	45,31	0,39	5,27	0,43	0,00	5,76	18,73	24,11
4	44,82	0,27	3,98	0,00	1,24	5,90	17,62	26,16
5	41,09	2,96	12,29	0,00	0,82	7,80	9,17	25,87
6	45,70	0,38	3,74	0,36	1,39	7,88	14,96	25,58

Формули:

- 1) $(\text{Cu}_{10,20}\text{Fe}_{0,14})_{10,34}\text{Te}_{3,07}\text{As}_{0,45}\text{Sb}_{0,27} 3,79\text{S}_{13}$
- 2) $(\text{Cu}_{10,84}\text{Zn}_{0,08}\text{Fe}_{0,06})_{10,08}(\text{Te}_{2,49}\text{As}_{1,14}\text{Sb}_{0,24}\text{Bi}_{0,23})_{4,10}\text{S}_{13}$
- 3) $(\text{Cu}_{12,33}\text{Fe}_{0,13}\text{Zn}_{0,10})_{12,56}(\text{Te}_{2,54}\text{As}_{1,33}\text{Bi}_{0,43})_{4,30}\text{S}_{13}$
- 4) $(\text{Cu}_{10,76}\text{Zn}_{0,07})_{10,83}(\text{Te}_{2,20}\text{As}_{1,26}\text{Bi}_{0,30}\text{Sb}_{0,16})_{3,82}\text{S}_{13}$
- 5) $(\text{Cu}_{10,43}\text{Zn}_{0,72})_{11,15}(\text{As}_{1,67}\text{Te}_{1,16}\text{Bi}_{0,95}\text{Sb}_{0,11})_{3,88}\text{S}_{13}$
- 6) $(\text{Cu}_{11,72}\text{Zn}_{0,10}\text{Fe}_{0,10})_{11,92}(\text{Te}_{1,91}\text{As}_{1,71}\text{Bi}_{0,29}\text{Sb}_{0,19})_{4,10}\text{S}_{13}$

Таблица 2

Състави на колусит, арсеносулванит и сулванит по данни от електронно-сондови микроанализи (в тегл. %)

№	Cu	Zn	Ge	Sn	V	Fe	Sb	As	S
Колусит									
1	48,23	0,94	0,00	7,94	2,92	0,00	0,00	8,65	31,32
2	46,74	0,98	0,00	8,37	2,89	1,49	0,00	8,30	30,89
3	48,71	1,06	0,00	8,23	2,90	0,10	0,00	8,37	30,54
Арсеносулванит									
4	49,54	0,32	1,31	1,50	2,88	0,23	0,00	11,48	32,75
5	48,85	0,23	0,66	0,58	3,17	0,19	0,00	12,34	33,96
6	48,54	0,42	1,55	0,00	2,96	1,73	0,00	12,31	32,31
7	49,04	0,00	1,62	0,23	2,93	0,24	0,00	12,59	33,33
8	49,44	0,37	1,64	0,37	3,00	0,26	0,00	12,16	32,76
9	49,12	0,42	0,96	0,51	2,90	0,34	0,00	12,64	33,12
10	47,77	0,52	0,43	0,57	3,13	0,19	2,00	12,38	33,01
11	47,33	0,37	0,66	0,89	3,10	0,36	2,87	11,21	33,20
Сулванит									
12	50,13	2,11	0,00	0,00	12,01	0,00	0,00	0,69	34,89
13	50,62	0,71	0,36	0,46	10,15	0,16	0,41	2,27	34,87

Формули:

- 1) $(\text{Cu}_{24,87}\text{Zn}_{0,47})_{25,34}\text{V}_{1,88}(\text{As}_{3,78}\text{Sn}_{2,19})_{5,97}\text{S}_{32}$
- 2) $(\text{Cu}_{24,43}\text{Fe}_{0,77}\text{Zn}_{0,49})_{25,69}(\text{V}_{1,89}\text{Fe}_{0,11})_{2,00}(\text{As}_{3,87}\text{Sn}_{2,34})_{6,01}\text{S}_{32}$
- 3) $(\text{Cu}_{25,75}\text{Zn}_{0,54})_{26,29}(\text{V}_{1,91}\text{Fe}_{0,06})_{1,97}(\text{As}_{3,76}\text{Sn}_{2,33})_{6,08}\text{S}_{32}$
- 4) $(\text{Cu}_{24,43}\text{Zn}_{0,15})_{24,58}(\text{V}_{1,77}\text{Fe}_{0,13})_{1,90}(\text{As}_{4,80}\text{Ge}_{0,57}\text{Sn}_{0,40})_{5,77}\text{S}_{32}$
- 5) $(\text{Cu}_{23,24}\text{Zn}_{0,11})_{23,35}(\text{V}_{1,88}\text{Fe}_{0,11})_{1,99}(\text{As}_{4,88}\text{Ge}_{0,28}\text{Sn}_{0,15})_{5,41}\text{S}_{32}$
- 6) $(\text{Cu}_{24,26}\text{Fe}_{0,84}\text{Zn}_{0,20})_{25,80}(\text{V}_{1,85}\text{Fe}_{0,15})_{2,00}(\text{As}_{5,21}\text{Ge}_{0,68})_{5,89}\text{S}_{32}$
- 7) $(\text{Cu}_{23,76}(\text{V}_{1,77}\text{Fe}_{0,13})_{1,90}(\text{As}_{5,18}\text{Ge}_{0,69}\text{Sn}_{0,06})_{5,93}\text{S}_{32}$
- 8) $(\text{Cu}_{24,37}\text{Zn}_{0,18})_{24,55}(\text{V}_{1,85}\text{Fe}_{0,14})_{1,99}(\text{As}_{5,08}\text{Ge}_{0,71}\text{Sn}_{0,10})_{5,89}\text{S}_{32}$
- 9) $(\text{Cu}_{23,93}\text{Zn}_{0,20})_{24,15}(\text{V}_{1,76}\text{Fe}_{0,19})_{1,95}(\text{As}_{5,23}\text{Ge}_{0,41}\text{Sn}_{0,13})_{5,77}\text{S}_{32}$
- 10) $(\text{Cu}_{23,86}\text{Zn}_{0,25})_{23,61}(\text{V}_{1,91}\text{Fe}_{0,09})_{2,00}(\text{As}_{5,13}\text{Sb}_{0,51}\text{Sn}_{0,15}\text{Ge}_{0,13})_{5,92}\text{S}_{32}$
- 11) $(\text{Cu}_{23,03}\text{Zn}_{0,18}\text{Fe}_{0,08})_{23,29}(\text{V}_{1,88}\text{Fe}_{0,12})_{2,00}(\text{As}_{4,62}\text{Sb}_{0,73}\text{Ge}_{0,28}\text{Sn}_{0,23})_{5,86}\text{S}_{32}$
- 12) $(\text{Cu}_{2,90}\text{Zn}_{0,12})_{3,02}(\text{V}_{0,87}\text{As}_{0,03})_{0,90}\text{S}_4$
- 13) $(\text{Cu}_{2,93}\text{Zn}_{0,04}\text{Fe}_{0,01})_{2,98}(\text{V}_{0,73}\text{As}_{0,11}\text{Ge}_{0,02}\text{Sn}_{0,01}\text{Sb}_{0,01})_{0,88}\text{S}_4$

Галенитът е установен като фини кубчета в междузонална пукнатина в арсеносулванит (табл. I, 2) и в междузърнови пространства сред енаргитови агрегати. С микро-сондови анализи (качествени) в състава му не се установяват Se и Te.

Витихенитът е образуван чрез периферно заместване на айкинит; не съществува увереност в ендеогенния му произход.

Най-общата последователност в рамките на описваната парагенеза е следната: пирит+енаргит+колусит+айкинит+голдфилдит→голдфилдит+арсеносулванит+сулванит+барит→галенит+барит→витихенит. Тази последователност издава намаляване на калаения и увеличаване на германиевия, цинковия и антимоновия потенциал в хода на минералоотлагането. Участието на високовалентни форми на арсена, телура и германия, отчасти на ванадия и желязото, както и наличието на барит свидетелствуват за относително висок окислителен потенциал на средата на рудоотлагане.

Мед-сребро-бисмут-телурава (с Pb, Zn и Se) частна парагенеза

Сред агрегати от едрозърнести халкопирит, пирит, сфалерит и дигенит се установяват малки гнезда и жилки, изградени от дребно- и финозърнести алотриоморфни галенит, айкинит и хесит.

Таблица 3

Състави на айкинит, витихенит и галенит по данни от електронно-сондови микроанализи (в тегл. %)

№	Cu	Pb	Bi	Fe	Se	S
Айкинит						
1	12,31	35,50	34,72	0,00	0,00	47,47
2	9,65	36,88	37,07	0,00	0,00	16,40
3	12,54	35,64	35,10	0,00	0,00	16,71
4	10,34	35,52	35,04	0,91	0,00	18,20
5	19,80	37,00	34,12	0,24	0,00	16,84
6	9,83	35,28	36,53	0,00	2,19	16,14
7	9,45	36,86	36,72	0,00	1,21	15,76
Витихенит						
8	35,76	0,00	43,50	0,00	0,00	20,74
9	38,19	2,13	38,90	0,88	0,00	19,90
Галенит						
10	—	85,24	—	—	3,02	11,74

Формули:

- 1) $Cu_{1,06}Pb_{0,96}Bi_{0,93}S_{3,04}$
- 2) $Cu_{0,89}Pb_{1,05}Bi_{1,04}S_{3,01}$
- 3) $Cu_{1,12}Pb_{0,98}Bi_{0,95}S_{2,95}$
- 4) $(Cu_{0,90}Fe_{0,09})_{0,99}Pb_{0,95}Bi_{0,93}S_{3,14}$
- 5) $(Cu_{1,05}Fe_{0,02})_{1,07}Pb_{1,01}Bi_{0,93}S_{2,98}$
- 6) $Cu_{0,90}Pb_{0,99}Bi_{1,02}(S_{2,93}Se_{0,16})_{3,09}$
- 7) $Cu_{0,88}Pb_{1,06}Bi_{1,04}(S_{2,92}Se_{0,09})_{3,01}$
- 8) $Cu_{2,78}Bi_{1,03}S_{3,19}$
- 9) $(Cu_{2,93}Fe_{0,08})_{3,01}(Bi_{0,91}Pb_{0,05})_{0,96}S_{3,03}$
- 10) $Pb_{1,01}(S_{0,90}Se_{0,09})_{0,99}$

Сфалеритът не образува отсмесвания в халкопирита, но съдържа редки фини халкопиритови отсмесвания. За относително нискотемпературния характер на парагенезата свидетелствува ниското съдържание на Fe в сфалерита — 1,04 тегл. %, съдържанието на Mn е по-малко от 0,1 тегл. %, на Cd е 1,57 тегл. %.

Галенитът е селенсъдържащ (табл. 3). Айкинитът (анализи 6 и 7 в табл. 3) също съдържа Se и с това се отличава от айкинита в описаната по-горе парагенеза. Хеситът е с практически стехиометричен състав (по два анализа) — $Ag_{2,01}Te_{0,98}$ и $Ag_{1,98}Te_{1,01}$. Основните отличителни белези на тази частна парагенеза са: участие на Se, наличие на минералообразуващи Pb, Zn и Ag, отсъствие на As и отрицателна валентност на телура. Средата на минералоотлагане се е характеризирала със значително по-нисък окислителен потенциал в сравнение със средата на арсен-калай-бисмут-телуровата парагенеза. Участието на Pb, Zn и Ag издава начало на геохимичен преход към състава на разтворите, отложили кварц-сфалерит-галенитовата парагенеза, описана от Богданов и Богданова (1981).

Дискусия

Известно е, че в Панагюрската рудна зона полиелементните минерални парагенези (с As, Sn, V, Bi, Ag, Te, Ge, Se и др.) са най-типични в масивните меднопиритови находища (Челопеч, Радка и др.) Тяхна отличителна характеристика е ниското съдържание на Co и Ni. Групата на меднопорфирните находища (Медет, Елаците, Асарел и др.) се характеризира със значително по-беден минерален състав, но с по-високи съдържания на Co и Ni, включително и с наличието на кобалтови минерали. Тези

и някои други геохимични и геоложки разлики между двете групи находища дадоха основание на Драгов (1972) да приеме, че масивните меднопиритови находища са вулканогенни, а меднопорфирните са плутоногенни, първите са образувани по-рано от вторите, към края на късната креда. Подобен възглед разви и Богданов (1987), който говори за вулканогенен и интрузивно-субвулкански етап на рудообразуване, характеризиращи се съответно с меднопиритови и меднопорфирни орудявания. От генетичния модел на зоналностите в находище Асарел, предложен от Богданов (1987), може да се допусне, че е възможно меднопорфирното орудяване да е било предшествувано от, макар и незначителни, полиелементни минерализации във вулканските скали. В такъв случай във връзка с широкомащабното развитие на меднопорфирното орудяване е възможно предшествуващите полиелементни минерализации да са били разтворени, а елементите им — разсеяни предимно в главните минерали, но и частично претложени в собствени минерали. Въз основа на тези съображения и с отчитане на новите минераложки и геохимични данни може да се направят следните изводи за произхода на полиелементните минерализации в находище Асарел.

Началото на процеса на меднопорфирното рудообразуване се характеризира с относително нисък окислителен потенциал. В такава среда минералите на висококвалентния телур, арсен, ванадий и др. са неустойчиви и се разтварят, но е възможно свързване на златото с Te^{2-} . Така може да се обясни произходът на златните телуриди в мед-злато-телуровата частна парагенеза. В хода на рудообразуването обаче са възникнали локалитети с повишен окислителен потенциал. Това би могло да се обясни например с проникване на вадозни води в хидротермалната система. В такива именно места съществуват условия за преотлагане на полиелементните минерали (включително барит). Отсъствието на халкопирит в арсен-калай-бисмут-телуровата частна парагенеза свидетелствува, че полиелементните минерали не са реликтови. Явленията на мобилизация и преотлагане, характерни за края на меднопорфирното рудообразуване (първи руден стадий), също се извършват в среда с нисък окислителен потенциал и в претложени минерали на мед-сребро-бисмут-телуровата частна парагенеза телурът отново е във втора отрицателна валентност.

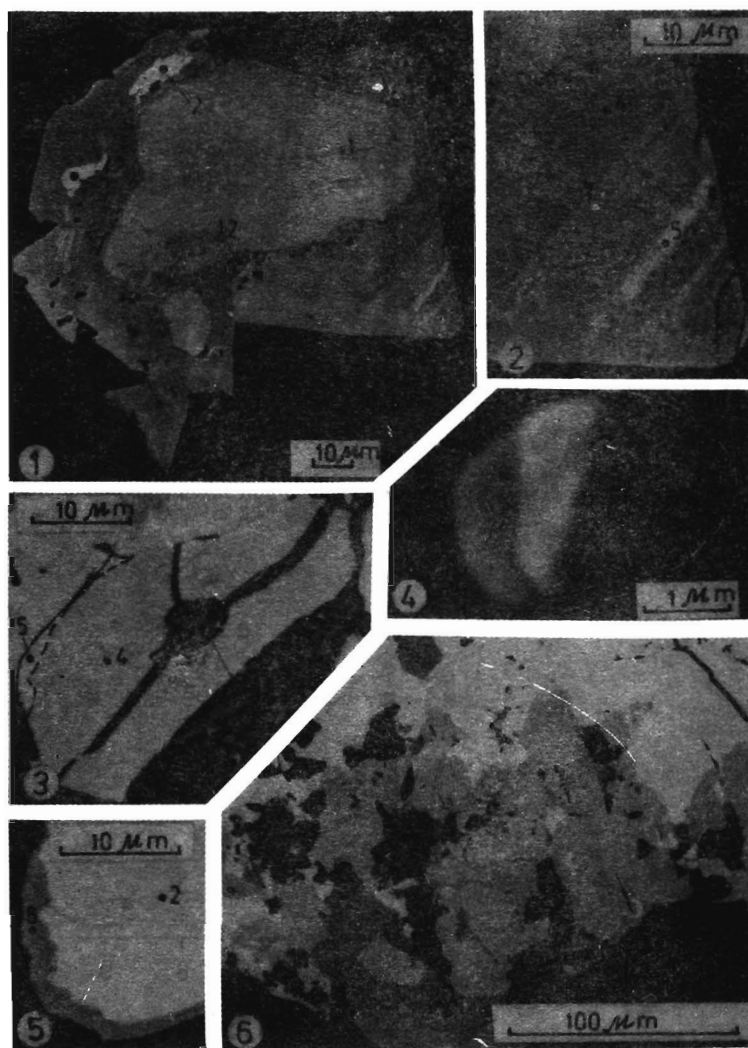
Възможно е подобно обяснение да е приложимо и към установените от Страшимиров (1982) полиелементни минерализации в находище Медет.

Л и т е р а т у р а

- Богданов, Б. 1987. *Медните находища в България*. С., Техника, 388 с.
- Богданов, Б., Р. Богданова. 1981. Последователност на формиране и характеристика на минералните парагенези в меднопорфирното находище Асарел. — *Рудообраз. проц. и минер. находища*, 14—15, 22—34.
- Драгов, П. 1972. Върху генетичното значение на концентрациите на кобалт, никел, селен и телур в медните находища от Средногорската зона. — *Изв. Геол. инст. Сер. рудни и нер. пол. изк.*, 21, 171—177.
- Коваленкер, В. А., Д. Цонев, В. Бресковска, В. С. Малов, В. Н. Тронева. 1986. Новые данные по минералогии медноколчеданных месторождений Центрального Средногорья Болгарии. — В: Коржинский, Д. С. (ред.). *Метасоматизм, минералогия и вопросы генезиса золотых и серебряных месторождений в вулканических толщах*. Наука, М., 91—110.
- Страшимиров, Стр. 1982. Сулванит и колусит от молибденово-медното находище Медет. — *Геохим., минер. и петр.*, 15, 57—66.
- Gedcke, D. A., L. G. Byars, W. H. Hardy. 1982. ZAP — a standardless X-ray microanalysis computer program. — *Scanning Electron Microscopy*, 3, 981—993.
- Orlandi, P., S. Merlini, G. Duchi, G. Vezzalini. 1981. Colusite; a new occurrence and crystal chemistry. — *Can. Mineral.*, 19, 423-427.

(Постъпила на 15. VIII. 1989 г.)

ТАБЛИЦА I



Снимки в отразени електрони. Точките и номерата съответствуват на местата и поредните номера на електронно-сондовите микроанализи в таблиците за съответните минерали

1. Сондаж 766, 246 m. Колуситови кристали (светлосиво) са заместени от сулванит (черно-сиво), арсеносулванит (зонален, тъмно- до светлосиво), голдфилдит (бяло) и галенит (не личи). В черния фон е кварц
2. Подробност от фиг. 1. В една от арсеносулванитовите зони е разположен галенит (дребни бели кубчета срещу стрелката)
3. Сондаж 766, 246 m. В контакт между голдфилдит (светлосиво, в средата) и барит (светлосиво, в горната лява част) е образуван цинк- и бисмутсъдържащ голдфилдит (бяло, в контур.) Тъмносиво — ковелин (супергенен)
4. Сондаж 761, 219 m. Овално включение от калаверит (?) (тъмносиво), самородно злато (светлосиво) и халкопирит (черно, в контур) в пирит (черния фон)
5. Сондаж 766, 246 m. Айкинит (бяло), заместен периферно от витихенит (сиво). Черно — кварц
6. Хоризонт 850 m. Гнездо от селенсъдържащ галенит (бяло), селенсъдържащ айкинит (сиво) и хесит (тъмносиво) в едрозърнест халкопирит (черно)