

## Рудни минерални парагенези и зоналности в находище Челопеч

*Румен Петрунов*

Петрунов, Р. 1995. Ore mineral parageneses and zoning in the deposit of Chelopech. — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 30,

On the basis of strictly defined concepts and by means of geological, structural-textural and geochemical criteria for their application, it has been demonstrated that the ore formation in the Chelopech deposit took place in three successive stages and the process had produced nine mineral parageneses: 1) Calcium-iron sulphate-sulphide stage with anhydrite (*anh*), pyrite I (*py I*) and pyrite II (*py II*) parageneses; 2) Copper-arsenic-sulphide stage with quartz-pyrite I (*qz-py I*), enargite (*en*), quartz-pyrite II (*qz-py II*) and tennantite (*tn*) parageneses; 3) Polymetallic-sulphide stage with quartz-sphalerite-chalcopyrite (*qz-sp-cp*) and barite-sphalerite-galena (*ba-sp-ga*) parageneses. Specific geochemical barriers divide the areas of stable development of the mineral parageneses, forming endogene vertical zoning patterns. For the first stage, such a threshold (depth of about 1000 m) separates *anh*, deposited in depth, from *py I* and *py II*, formed higher up, defining a distinct sulphate-sulphide vertical zoning. Two thresholds are marked for the second stage, one of which (at about 800 m) divides *qz-py I* and *en*, and the other (at about 1300 m) *qz-py II* and *tn*. For the third stage the geochemical threshold (at a depth of about 800 m) separates *qz-sp-cp* from *ba-sp-ga*. These zoning patterns are interpreted in terms of the following theoretical scheme. The ore fluid started moving out of its source, its parameters evolving very slowly. During its ascent, the thermo-baric gradients, the exchange of heat and matter with the host rocks, boiling and selective release of gases, mixing with exogene water, partial crystallization of components, etc. caused disintegration of the hydrothermal system into separate vertical zones of specific physicochemical characteristics, where different mineral parageneses were deposited. Each zone was defined by certain boundary values of its physicochemical characteristics, and the latter's variation between them had partially determined the mineral successions in the given paragenesis. When the process reached these boundary values, a new paragenesis was deposited, and the place, where this had happened, marked a geochemical threshold. Thus, during each stage the ore forming process had fixed the vertical mineral zoning patterns into the spatially divided parageneses.

It is suggested that the Chelopech deposit is an example of spatially combined syn- and post-volcanic hydrothermal manifestations, characteristic both of the volcanic-hosted massive-sulphide (hydrothermal-sedimentary) deposits and of the epithermal (high-sulphur, enargite-precious metal) deposits.

*Key words:* mineral paragenesis, ore-forming sequences, vertical mineral zoning, massive sulphide and epithermal deposits.

*Address:* Bulgarian Academy of Sciences, Geological Institute, 1113 Sofia.

## Увод

Редица изследователи на находище Челопеч са засягали в работите си въпроса за пространственото и по време разчленяване на продуктите на рудообразуването. Според степента на геоложка разкритост и съобразно със съответни теоретични виждания са предлагани изразени с различни, недефинирани и с неизяснени критерии за употреба понятия и термини, схеми на развитието на рудообразувателния процес. Терзиев (1965) отделя продуктите на рудообразуването в четири „парагенетични асоциации“: 1) борнит-пиритова; 2) лузонит-енаргит-пиритова; 3) халкопирит-тенантит-пиритова и 4) пирит-галенит-сфалеритова. По-късно същият автор (1968) обединява минералите в „типове руди“ (халкопирит-тенантит-пиритов, лузонит-енаргит-пиритов, борнит-пиритов, оловно-цинков и баритов). Той дава един условен общ ред на последователност на кристализация на главните минерали (кварц-барит-пирит-борнит (основна част)-лузонит-енаргит-дигенит, халкоцит-сфалерит-борнит-халкопирит-галенит-тенантит-барит (основна част), предизвикан от „последователно отделяне на минералите от непрекъснато постъпващ комплексен хидротермален разтвор с относително постоянни начални качествени характеристики при неговото движение по раздробените зони“. Мутафчиев (1967), както и Мутафчиев, Чипчакова (1969), приемайки идеята за многоактност на хидротермалната дейност, свързана с различни фази на магматизма, дефинират проявата на четири „стадия на рудообразуване“: 1) кварц-пиритов; 2) халкопирит-тенантит-пиритов; 3) лузонит-енаргит-пиритов и 4) пирит-полиметален. Попов и др. (1981) отделят пет „парагенези“ (кварц-пиритова, халкопирит-тенантит-пиритова, лузонит-енаргит-пиритова, тенантит-халкопиритова и галенит-сфалерит-халкопиритова. Цонев, (1982) представя седем „стадия на минералообразуване“ — пиритов, халкопиритов, борнитов, енаргитов, тенантитов, галенитов и баритов, проявени в телескопирано отлагане на минерални парагенези. Тодоров (1984) предполага проявата на единен пулсационен хидротермален процес, осъществен в четири „стадия“: 1) пирит-серицит-кварцов; 2) кварц-пиритов; 3) кварц-сулфосолно-сулфиден и 4) кварц-карбонатно-сулфатен.

Въпреки терминовото многообразие и неопределеност и различните теоретични подходи при интерпретациите, обединяващото в схемите на отделните автори и в отделните публикации би могло да бъде изразено най-общо по следния начин: рудообразуването в находище Челопеч започва с отлагане на пирит, следвано от образуване на Си-сулфидни минерали и завършва с образуването на полиметални сулфиди. Тази най-обща схема на минерална последователност се потвърди за относително високите части на находището и от изследванията, свързани с разработването на предлаганата работа. В същото време разширяването на обсега на събиране на нов фактически материал в резултат от интензивната геологопроучвателна и добивна дейност през последните 15—20 години, прилагането на по-съвременни методи и уточняването на понятията и критериите за тяхната употреба позволиха тази схема да бъде допълнена и доуточнена.

## Обхват на изследването и използвани методи

Определянето на минералните парагенези и на техните последователности и зоналности е проведено на основата на подробно минераложко документирание на всички достъпни за времето 1984—1990 г. участъци на

действащия проучвателен и експлоатационен обект „Челопеч“, както и на структурните сондажи №№ 500, 600 и 600а, прокарани до дълбочина 2000 m през 1981—1982 г. Освен това, използвани са любезно предоставените от ст. н. с. Т. Тодоров около 30 образца от находища Челопеч и Воздол и част от сбирката на покойния Г. Терзиев, характеризираща недостъпни за посочения срок места. По този начин бяха създадени условия за получаване на достоверна информация от максимално възможния обем на находището.

Под микроскоп в отразена светлина са изследвани около 650 полирани препарата, изготвени от представителни образци. С електронно-микросондови методи са изследвани химичните състави, химическите нееднородности и други онтогенетични белези на повече от 50 рудни минерала. Използвани са някои геохимични данни, данни за изотопите на сярата и кислорода, ДТА и инфрачервена спектроскопия.

### Понятия и критерии за тяхната употреба

Минералната парагенеза е възприемана като „съвкупност от минерали, възникнали, съдейки по техните сраствания и пространствени съотношения, едновременно или последователно в близки физикохимични условия без рязко изразени признаци на неравновестност“ (Г е н к и н и др. 1984).

При определянето на минералните парагенези и техните последователности са използвани геоложки, структурно-текстурни и геохимични критерии. С прилагането на геоложкия критерий са дефинирани отделните минерални парагенези. Този критерий предполага устойчиво съществуване на пространствено обособено повече или по-малко пълно съобщество от минерали. При богат минерален състав се установява постоянно присъстваща асоциация от типоморфни минерали, определяща характеристичните белези, дефиниращи парагенезата. Минералите, изграждащи парагенезите, са определяни като едновременно и (или) равновесно образувани по термодинамични и структурни критерии, разработени от Barton et al. (1963), Григорьев, Жабин (1975) и др.

По структурно-текстурни критерии са отделяни разновъзрастни минерали, минерални агрегати и парагенези. Взаимоотношенията на минералните агрегати се установяват по текстурите на пресичане и брекчиране на ранни хидротермални образувания и спояването им от продуктите на по-късни процеси. Обрастването на едни минерални агрегати с други, различаващи се по състав, заместването с признаци на корозия, разтварянето, преотлагането, образуването на нови минерали или минерални агрегати за сметка на по-рано образувани, прекристализацията и дорастването се приемат за признаци за минерална и парагенетична последователности.

С геохимични критерии, основаващи се главно на аналитични данни, са разграничавани минералните парагенези по: 1) изменението на основната елементна асоциация; 2) изменението на химичния състав на минералите (различно съдържание на изоморфни примеси или техни различни количествени съотношения в един минерален вид); 3) изменението на валентното състояние на някои елементи (As, Sb, Te, Bi, S); 4) изменението на изотопния състав на сярата и кислорода в общи за отделните парагенези минерали.

Определянето на минералните парагенези и техните последователности е извършено по възможно пълната съвкупност от критерии.

Стадиите на минерализация са определяни според посочените по-горе критерии за минерално-парагенетичните последователности през целия минералообразователен период. Отделни парагенези или групи от параге-

нези се обединяват в стадии като носители на единен елементен, изотопен и минерален състав, образувани в резултат от единна еволюция на физико-химичните условия на минералообразуване.

## Рудни минерални парагенези и техните последователности

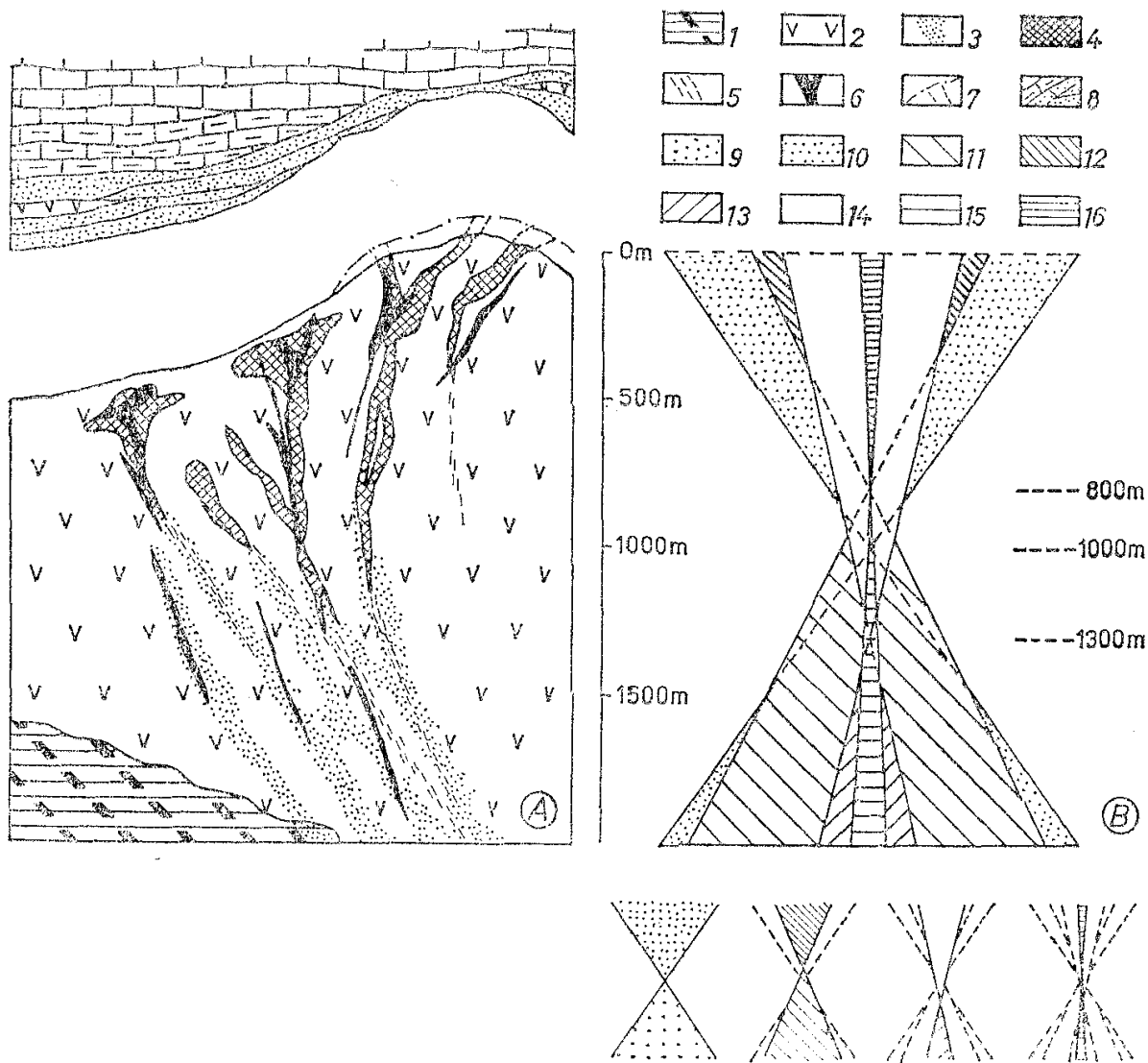
В съответствие с приетите тук определения на понятия и с прилагане на критериите за тяхното използване може да се докаже, че рудообразуването в находище Челопеч е протекло в рамките на три последователни стадия и е материализирано в девет минерални парагенези: 1) Калциево-железен сулфатно-сулфиден стадий с анхидритова, пиритова I и пиритова II парагенези; 2) Медно-арсеново-сулфиден стадий с кварц-пиритова I, енергитова, кварц-пиритова II и тенантитова парагенези; 3) Полиметално-сулфиден стадий с кварц-сфелерит-халкопиритова и барит-сфалерит-галенитова парагенези. Пространственото развитие и последователността на парагенезите са представени схематично на фиг. 1.

### *Анхидритова парагенеза*

Анхидритовата парагенеза е дефинирана и описана от Петринов (1989). Тя се установява в сондажи № 500, 600 и 600<sup>a</sup> на дълбочина, по-голяма от 1000 m от съвременна повърхност, където се съвместява с кварц-пиритовите I и II, тенантитовата и кварц-сфелерит-халкопиритовата парагенези и е по-ранна от тях. Развита е главно в щокверков тип минерализация. Минералният ѝ състав включва анхидрит (рязко преобладаващ) и средно-до едрокристален пирит. Изграждащите я анхидрит и пирит, освен че са отделени по време на образуване от минералите на съвместените с тях парагенези, се различават по важни химически характеристики от анхидрита и пирита, участващи в техния състав. Това дава допълнителни основания да бъде дефинирана отделна парагенеза. Така, първият анхидрит има ДТА-криви, инфрачервени спектри и изотопен състав, различаващи се от тези на преотложения анхидрит от кварц-сфалерит-халкопиритовата парагенеза. Пиритът от анхидритовата парагенеза има различен микрохимичен състав от пирита на по-късните парагенези. Той съдържа (в g/t по данни от неутронно-активационни и атомно-абсорбционни анализи) 0,1 Au, 28,0 Pb 32,0 As, 1,0 Bi, докато пиритът от кварц-сфалерит-халкопиритовата парагенеза има 1,8 Au, 178,0 Pb, 118,0 As, 64,0 Bi. От пирита от кварц-пиритовите (I и II) парагенези „анхидритовият“ пирит се различава и по отсъствието на сулфидни включения.

### *Пиритови парагенези I и II*

Над интервалите с развитие на анхидритовата парагенеза се установява пиритова минерализация, представена от дребно- до среднокристален пирит заедно с кварц, изграждащи обилно наситени с впръследи и жилки зони. В по-широките жилки пиритът образува понякога агрегати, описани от Терзиев (1968) като коломорфни. На места пиритовата минерализация е развита в плътни, почти биминерални маси от дребно- до финозърнест пирит и халцедоновиден кварц. Тази минерализация оформя *пиритовата парагенеза I*.



Фиг. 1. Обобщен геоложки разрез (А) и схема на последователностите и пространственото развитие на минералните парагенези (В).

1 — фундамент, 2 — вулканити, 3 — анхидрит, 4 — медно-пиритови руди, 5 — кварц-пиритови минерализации, 6 — полиметални минерализации, 7 — палеоерозионна повърхност, 8 — следрудни отложения, 9—16 — минерални парагенези: 9 — анхидритова, 10 — пиритови I и II, 11 — кварц-пиритова I, 12 — енаргитова, 13 — кварц-пиритова II, 14 — тенантитова, 15 — кварц-сфалерит-халкопиритова, 16 — барит-сфалерит-галенитова

Fig. 1. Generalized geological cross-section (A) and diagram of the temporal sequence and spatial distribution of mineral parageneses (B).

1 — basement, 2 — volcanics, 3 — anhydrite, 4 — copper-pyrite ore, 5 — quartz-pyrite mineralizations, 6 — polymetallic mineralizations, 7 — surface of paleodenu- dation, 8 — post-ore deposits, 9-16 — mineral parageneses: 9 — anhydrite, 10 — py- rite I and pyrite II, 11 — quartz-pyrite I, 12 — enargite, 13 — quartz-pyrite II, 14 — tennantite, 15 — quartz-sphalerite-chalcopyrite, 16 — barite-sphalerite-galena

На различни нива и в различни локалитети във високите части на на- ходището се установяват седиментни образувания с ясна ивичеста текстура, обусловена от редуването на тъмни и светли слойчета. Те съдържат в раз- лични пропорции финодисперсен Fe-сулфиден и глинест материал, криста- локласти от скалообразуващи минерали, пирит и сфалерит. Финодисперс- ният материал е напукан подобно на следствие от изсъхване. При по-интен- зивна пиритизация се наблюдават шуплести агрегати с „гъбеста“ структу-

ра. Ивичестата текстура често прехожда в масивна пиритова. В по-дълбоките части на находището сред масивен тип рудни образувания се откриват късове с ивичеста текстура, обусловена от редуване на ивици от дребни пиритови зърна и от кварц. Тези късове са споени от медни сулфиди и кварц.

Както в слойчетата с „гъбест“ пирит, така и извън тях, се установяват три вида, различаващи се по вътрешен строеж и размери, сферични пиритови образувания (глобули): глобули с радиално-лъчест и с концентричен строеж, глобули с поликристален строеж (фрамбоиди) и глобули със строеж, наподобяващ организмови структури.

Анализът на особеностите на „гъбестите“ и глобуларните пиритови образувания позволява да се предположи, че те са диагенетични продукти, образувани в резултат от частична прекристализация под въздействието на диагенетичното налягане и постоянната температура и с участието на поровите разтвори на Fe-сулфидна утайка. След формирането си тези образувания са изпитвали по-късни тектонски и хидротермални въздействия. Диагенетичният пирит заедно със сфалерита определят *пиритовата парагенеза II*.

Като цяло върху пиритовите парагенези I и II са наложени кварц-пиритовата I, енаргитовата, тенантитовата и барит-сфалерит-галенитовата парагенези.

Агрегатите на трите минерални парагенези — анхидритова и пиритови I и II, не са съвместени пространствено и поотделно имат еднакви възрастови взаимоотношения с асоцииращите с тях парагенези — те са по-ранни от последните, което подкрепя тезата за тяхната едновременност. Обединяващата елементна асоциация, характеризираща техния минерален състав, включва хидротермална система от Ca, Fe, Si и S-компоненти. Това означава, че тези три минерални парагенези са образувани в рамките на единен калциево-железен сулфатно-сулфиден стадий от развитието на цялостния рудообразователен процес. В условията на дълбочина, по-голяма от 1000 m от съвременната повърхност, е била отложена анхидритовата парагенеза. По-високо, сред тектонизирана твърда вулканогенна среда е била образувана пиритовата парагенеза I, а местата, където разтворът е достигал морското дъно и е била отлагана смесена глинесто-сулфидна утайка, подлагана на диагенеза, се фиксират от пиритовата парагенеза II.

### *Кварц-пиритова парагенеза I*

Тази парагенеза се установява в дълбоките части на находището (дълбочина по-голяма от 800 m от съвременна повърхност). Развита е в щокверков тип минерализация и включва в състава си кварц и пирит с характерни включения от борнит, дигенит, ковелин, самородно злато. Извън пирита тези минерали не се установяват, което е израз на „затруднената“ (в смисъла на R a m d o h r, 1969) им кристализация в съответните минералообразователни условия и индикира наличието в разтвора на повече компоненти, отколкото са свързаните в главните минерали.

Кварц-пиритовата парагенеза се съвместява с анхидритовата, пиритовата I, кварц-пиритовата II, тенантитовата и кварц-сфалерит-халкопиритовата парагенеза и е образувана след първите две и преди третата, четвъртата и петата.

## *Енаргитова парагенеза*

Енаргитовата парагенеза се установява до дълбочина около 800 m от съвременната повърхност. Тя е наложена върху пиритовите I и II и е образувана по-рано от тенантитовата и барит-сфалерит-галенитовата парагенеза, а не се съвместява пространствено с анхидритовата, кварц-пиритовите и кварц-сфалерит-халкопиритовата. В местата на съвместяване с пиритовите парагенези са образувани масивен тип отложения.

Минералният състав на енаргитовата парагенеза попада главно в системите  $Cu - Fe - S$  (пирит, борнит),  $Cu - As - S$  с  $Sb$ ,  $Te$  и  $Bi$  (енаргит, тетраедрит, голдфилдит) и  $Cu - Fe - Sn - S$  с  $V$ ,  $Mo$  и  $Ge$  (станоидит, колусит, хемусит, германит). Характерно е преобладаващото присъствие на сулфидни минерали с химически елементи във високовалентно състояние ( $As^{5+}$ ,  $Sn^{4+}$ ,  $Te^{4+}$ ,  $Ge^{4+}$ ). Минералите са образувани едновременно или в близка последователност, като във втория случай част от тях образуват зонални агрегати (станоидит, колусит, хемусит). Някои минерали — колусит, голдфилдит, образуват химически нееднородни кристали и агрегати. Химическата нееднородност се изразява в кристализация на различаващи се по състав и сукцесия зони, което е признак за „пулсиране“ на активностите на катионните компоненти по време на минералообразователния процес.

Пиритът от енаргитовата парагенеза не съдържа или съдържа малко количество  $As$  и е представен в начални растежни обеми на химически нееднородни пиритови кристали и агрегати. Те са отделени от обемите, съдържащи повече  $As$  със смяна на кристалните форми и (или) с прояви на разтваряне и заместване. Арсенсъдържащите пиритови растежни обеми принадлежат на тенантитовата парагенеза.

Във вертикалното разпределение на второстепенните минерали се набелязва следната закономерност: голдфилдитът се установява в горните, а колуситът, станоеидитът и хемуситът — в долните участъци на развитие на парагенезата.

Кварц-пиритовата I и енаргитовата парагенеза са отделени пространствено и имат поотделно еднакви възрастови взаимоотношения с асоцииращи и с двете минерални парагенези. Това свидетелства за тяхната едновременност. Имайки предвид и „затруднената“ кристализация на медно-сулфидните минерали в кварц-пиритовата парагенеза I, но обилното присъствие на такива минерали в енаргитовата парагенеза, стигаме до извода, че двете парагенези са отложени в различни хипосометрични нива от единен хидротермален разтвор, предполагащ променящи се условия на минералообразуване.

## *Кварц-пиритова парагенеза II*

Тази минерална парагенеза е образувана на дълбочина по-голяма от 1300 m от съвременната повърхност и е представена от кварц и пирит с овални включения от пиротин. Тя е наложена върху анхидритовата и кварц-пиритовата I парагенези, като във втория случай разтворите ѝ са предизвикали образуването на халкопирит за сметка на заместването на борнит и дигенит в овалните включения в пирита.

## *Тенантитова парагенеза*

Тази минерална парагенеза се установява до дълбочина около 1300 m от съвременната повърхност. Тя е наложена върху анхидритовата, пирит-

товите I и II, кварц-пиритовата I и енаргитовата, а по-късни от нея са кварц-сфалерит-халкопиритовата и барит-сфалерит-галенитовата парагенези. Не се съвместява с кварц-пиритовата парагенеза II.

Тенантитовата парагенеза има богат минерален състав. Той е най-пълен в местата на пространствено съвместяване с пиритовите I и II и енаргитовата парагенеза, където са формирани масивен тип отложения. Както при енаргитовата парагенеза, минералният състав на тенантитовата попада в системите  $Cu - Fe - S$  (пирит, халкопирит),  $Cu - As - S$  с  $Te$  (тенантит, вкл. телурсъдържащ и телуров) и  $Cu - Fe - Sn - S$  (моусонит, арсеносулванит). Тук се появяват и минерали в системите  $Cu - Pb - Bi - S - Se$  (айкинит, соучекит, витихенит, клаусталит, самороден бисмут),  $Pb - Bi - Te - Se$  (алтаит, телуробисмутит, кавазулит, самороден телур),  $Cu - Au - Ag - Te$  (костовит, силванит, калаверит, кренерит, петцит). Много от елементите в тези системи присъстват като примеси в минералите на енаргитовата парагенеза —  $Se$  в борнита и енаргита;  $Bi$ ,  $Au$  и  $Ag$  в голдфилдита. За разлика от енергитовата, тази парагенеза се характеризира с присъствие на елементи в нисковалентно състояние ( $As^{3+}$ ,  $Sb^{3+}$ ), дори в нулева ( $Bi$ ,  $Te$ ) и отрицателна валентност ( $As^{2-}$ ,  $Te^{2-}$ ,  $Se^{2-}$ ). Като цяло може да се каже, че голяма част от минералите на тенантитовата парагенеза са образувани за сметка на разтварянето на минералите на енаргитовата: станойдит и колуцит — моусонит; енаргит — лузонит и тенантит; тетраедрит — бурнонит; голдфилдит — минерали в системата  $Cu - Au - Ag - Te$ .

Минералите на тенантитовата парагенеза са образувани едновременно или в близка последователност, изразяваща се с по-късно образуване на минералите от системите  $Cu - Pb - Bi - S - Se$ ,  $Pb - Bi - Te - Se$  и  $Cu - Au - Ag - Te$ . Тези минерали заемат по-високите участъци на развитие на парагенезата.

Главните минерали — тенантит и пирит — участват в състава на химически хетерогенни съответно би- и мономинерални кристали и агрегати, Принадлежащите на тази парагенеза растежни зони в биминералната сукцесия тетраедрит-тенантит са арсенови (тенантитови) и арсенсъдържащи (за пирита) и са отделени от зоните, принадлежащи на енаргитовата парагенеза с прояви на процеси на разтваряне и заместване или със смяна на кристалната форма (за пирита).

Изводът за това, че кварц-пиритовата I и енаргитовата парагенеза са едновременни и са отложени в различни хипсометрични нива от единен хидротермален разтвор, се обосновава със същите съждения и е приложим и за кварц-пиритовата II и тенантитовата парагенеза.

Изхождайки от общността на елементния състав и от еднаквите като цяло пространствено-времеви взаимоотношения с по-ранните (анхидритова и пиритови I и II) и по-късните (кварц-сфалерит-халкопиритова и барит-сфалерит-галенитова) парагенези, двете двойки парагенези — кварц-пиритова I и енаргитова и кварц-пиритова II и тенантитова може да се разглеждат като отложени в медно-арсеново-сулфиден стадий от развитието на минералообразователния процес.

### *Кварц-сфалерит-халкопиритова парагенеза*

Тази парагенеза се установява на дълбочина по-голяма от около 1000 m от съвременната повърхност (сондаж 500). Представена е от жилин тип минерализация, наложена върху асоцииращите с нея анхидритова, кварц-пиритова I и II и тенантитова парагенеза. Не се съвместява пространствено с барит-сфалерит-галенитовата парагенеза.



## Барит-сфалерит-галенитова парагенеза

В находището тази парагенеза е развита над интервалите на разпространение на кварц-сфалерит-халкопиритовата като жилинен тип минерализация. Тя е по-късна от всички асоцииращи с нея минерални парагенези. В местата на съвместяване с масивен тип пиритови отложения са образувани масивни барит-сфалерит-галенитови тела. Тези тела са характерни за най-високите нива на находището.

Общият елементарен състав, еднаквите възрастови отношения с асоцииращите с тях минерални парагенези и пространственото им несъвместяване, позволяват да се приеме, че кварц-сфалерит-халкопиритовата и барит-сфалерит-галенитовата парагенеза са образувани в полиметално-сулфиден стадий от развитието на минералообразователния процес, през който в различни хипсометрични нива единен хидротермален разтвор е отложил две парагенези.

## Вертикални минерално-парагенетични зоналности

Както е показано на фиг. 1, в находище Челопеч се фиксират няколко своеобразни геохимични прага, разделящи областите на устойчиво развитие на минералните парагенези. Тези прагове са реално съществуващи и откриваеми в разреза на находището и отбелязват хипогенни вертикални минерални зоналности. За първия стадий такъв праг се установява на дълбочина около 1000 *m* от съвременната повърхност. Той отделя анхидритовата парагенеза, отложена в дълбочина, от пиритовите I и II, образувани по-високо, определяйки ясно изразена сулфатно-сулфидна вертикална зоналност (Р е т г и п о в, 1989). За втория стадий се отбелязват два прага. Единият (около 800 *m*) отделя кварц-пиритовата I от енаргитовата, а другият (около 1300 *m*) — кварц-пиритовата II от тенантитовата парагенеза. За третия стадий геохимичният праг е на дълбочина около 800 *m* и разделя кварц-сфалерит-халкопиритовата и барит-сфалерит-галенитовата парагенеза.

Така отбелязаната смяна — от една страна на минералната парагенеза в рамките на всеки отделен стадий и, от друга — на елементарната асоциация в минералите от парагенезите на различните стадии означава промяна на физикохимичните условия на рудообразователната среда в пространството и времето. В този смисъл, подробното вглеждане във фактическия материал навежда на следните теоретични разсъждения, върху които се основава анализът на хода на минералообразователния процес в рамките на отделния стадий.

Разтворът „тръгва“ от своя източник с определени, поддържани, много бавно еволюиращи параметри. При възходящото му движение в резултат от термо-баричния градиент, топло- и масообмена с вместващите скали, кипенето и селективната дегазация, смесването с екзогенни води, отделянето на компоненти в твърда фаза и др., хидротермалната система се разчленява и в отделните пространствени зони е със специфични физикохимични характеристики. В тези зони се отлагат различни минерални парагенези. Всяка зона се дефинира с гранични стойности на физикохимичните си характеристики, ходът между които обуславя частично минералните последователности в парагенезата. Достигането на самите гранични стойности бележи появата на нова парагенеза, а мястото, където това е станало фиксира геохимичен праг. По този начин, в рамките на всеки стадий рудообразоването фиксира вертикални минерални зоналности, запечатани в пространствено отделените парагенези.

## Заклучение

1. Изводите за пространственото и по време развитие на рудообразователните процеси в находище Челопеч симпатизират на идеите за „фациална зоналност“ на рудните находища (С м и р н о в, 1965), за теоретично дефинираните „рудни фацисии“ (Ж а р и к о в, 1968) и за експериментално моделираните „фацисии на рудообразуване“ (К о л о н и н и др., 1986). Авторът се надява, че с тяхното по-нататъшно развитие на основата на анализи и на други природни примери може да бъдат допълнени познанията за рудообразователните процеси с важни теоретични и приложни следствия.

2. Като се отчита типът на вместиращите скали и техните изменения, и съставът, последователностите и зоналностите на рудните минерализации, може да се предположи, че находище Челопеч представлява интересен случай на пространствено съчетание на синвулкански (калциево-железен сулфатно-сулфиден стадий) и поствулкански (медно-арсеново-сулфиден и полиметално-сулфиден стадий) хидротермални прояви, характерни за два широко известни типа хидротермални находища, вместиени във вулкански скали — масивни сулфидни (хидротермално-седиментни) и епитермални (високосерни, енаргит-благороднометални).

## Л и т е р а т у р а

- Г е н к и н, А. Д., М. Г. Д о б р о в о л ь с к а я, Т. Н. Ш а д л у н. 1984. Современное состояние исследований минеральных парагенезисов в рудах. — В: Онтоев, Д. О. (ред.) Минеральные ассоциации, структуры и текстуры руд как показатели условий гидротермального рудообразования. М., Наука, 5—29.
- Г р и г о р ь е в, Д. П., А. Г. Ж а б и н. 1975. Онтогения минералов. Индивиды. М., Наука. 339 с.
- Ж а р и к о в, В. А. 1968. Парагенезис минералов, фацисии и формации — Зап. Всес. мин. об-ва, 97, 4.
- К о л о н и н, Г. Р., О. Л. Г а с ь к о в а, Г. А. П о л ь я н о в а. 1986. Опыт выделения фаций рудообразования на основе буферных парагенезисов сульфидных минералов. — Геол. и геофиз., 7, 133—141.
- М у т а ф ч и е в, И. 1967. Върху генезиса и структурната зоналност на медно-златно-пиритното находище Челопеч, Пирдопско. — Изв. НИГИ, 4, 145—159.
- М у т а ф ч и е в, И., С. Ч и п ч а к о в а. 1969. Хидротермални изменения на скалите от сенонския вулканогенен комплекс при медно-златно-пиритното находище Челопеч, Пирдопско. — Изв. Геол. инст., сер. руд. пол. изк., 18, 125—142.
- П о п о в, П., И. М у т а ф ч и е в, П. Д и м и т р о в, П. Я н е в а, М. С т о й н о в а. 1981. Структура на Челопешкото меднорудно поле. Морфоструктурна характеристика на рудните тела и закономерности в пространственото положение на минералните парагенезиси. — Год. ВМГИ, 26, № 2, 41—53.
- С м и р н о в, В. А. 1965. Региональная и локальная эндогенная рудная зональность. — В: Конференция „Проблемы постмагматического рудообразования“, т. 2, Прага.
- Т е р з и е в, Г. 1965. О некоторых минералогических и геохимических особенностях месторождения Челопеч. — Докл. VII конгр. КБГА, София, ч. III, 233—238.
- Т е р з и е в, Г. 1968. Минерален състав и генезис на рудното находище Челопеч. — Изв. Геол. инст., сер. геох., минер. и петр., 18, 127—187.
- Т о д о р о в, Т. 1984. Нови данни за развитието на минерализационния процес и геохимията на минералите в находище Челопеч. — Рудодобив, 6, 4—8.
- Ц о н е в, Д. 1982. Месторождение Челопеч. — Пътеводител, екскурзия 2, XIII Конгр. ММА, Варна, 73—90.
- B a r t o n, P. V., R. M. B e t h k e, P. T o u l m i n. 1963. Equilibrium in ore deposits. — Miner. Soc. Amer. Spec. Papers, 1, 171—185.
- P e t r i n o v, R. I. 1989. Hypogene sulphate-sulphide zoning in a copper-pyrite deposit. — C. R. Acad. bulg. Sci., 42, No 10, 71—73.
- R a m d o h r, P. 1969. The Ore Minerals and Their Intergrowths. Oxford, Pergamon Press. 1174 p.