

Температури на рудообразуване в медните находища от Средногорската зона по данни от изследване на флуидни включения в минералите

Стр. Страшимиров, В. Ковачев

Минно-геоложки университет, 1156 София

S. Strashimirov, V. Kovachev — *Temperatures of ore-formation in copper deposits from the Srednogorie zone based on fluid inclusion studies of minerals.*

The paper presents new data on the temperatures of mineral formation in some of the copper deposits from the Srednogorie zone and a model of temperature development of the processes based on temperature measurements and published results. Samples from the three types copper deposits — porphyry-copper (Elatzite, Medet and Assarel), vein copper (Rossen, Zidarovo and Bacadjic ore fields) and massive copper-pyritic (Radka and Elshitza) ore deposits have been studied.

The method of homogenization of the primary fluid inclusions in quartz, calcite, barite and other minerals was used to obtain the results.

Homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz from the Elatzite deposit were determined in the main mineral associations — quartz-feldspatic ($> 450^{\circ}\text{C}$), magnetite-hematite ($360\text{--}390^{\circ}\text{C}$), pyrite-chalcopyrite ($576\text{--}330^{\circ}\text{C}$), quartz-galena-sphalerite ($232\text{--}243^{\circ}\text{C}$) and calcite ($250\text{--}140^{\circ}\text{C}$). Three-phase inclusions containing halite (7) and hematite (7) observed in some of the samples confirm the existence of high temperature ($575\text{--}415^{\circ}\text{C}$) and high salinity (above 30% NaCl eqw.) ore-forming fluids.

New data on the Medet ore deposits show a smooth increase in the temperature of formation in quartz-pyrite-chalcopyrite association ($350\text{--}390^{\circ}\text{C}$) in depth of composed to the previously published results (Стр а ш и м и р о в, 1981).

A two stage development of the hydrothermal system is typical in the Assarel deposit and new data obtained add to the known results (Б о г д а н о в и д р., 1980) which determine this deposit as the lowest temperature one among the porphyry copper deposits from the zone.

Three ore deposits (Rossen, Meden Rid and Chiplaka) from the Rossen ore field were studied. The observations established that the central part of the ore field was formed by relatively high temperature fluids ($320\text{--}365^{\circ}\text{C}$).

The Zidarovo ore field was characterized by large temperature range ($600\text{--}210^{\circ}\text{C}$) of the mineral formation (К о в а ч е в, 1981). The paleotemperature field is not homogeneous and includes three sections with different thermogradients. A well-expressed lateral temperature and mineral zonation is typical of this ore field.

The Bacadjic (Tamarino) ore field is very similar to the Zidarovo ore field by its temperature conditions of the ore-formation. Temperatures measured in this field show a continuous-discontinuous character of the ore-formation marked by a gradual decrease in the fluids temperatures. Temperatures measured in quartz (pyrite-chalcopyrite association) are within the range of $350\text{--}310^{\circ}\text{C}$ and those in quartz from the later base-metal association are between 310 to 250°C .

The hydrothermal alterations of the host rocks in the Elshitza ore deposits cover a large temperature range ($400\text{--}250^{\circ}\text{C}$). The ore mineralization was formed from low temperature fluids ($250\text{--}210^{\circ}\text{C}$) and the inclusions in anhydrite (the latest anhydrite-gypsum association) show temperatures of homogenization about 165°C . Data obtained about the fluids in the Radka ore deposits are very close to those in the Elshitza ore deposits ($244\text{--}250^{\circ}\text{C}$ in quartz and $230\text{--}180^{\circ}\text{C}$ in anhydrite) and normal vertical zonation was confirmed for the two deposits.

Several samples from the vein (Vozdol) and porphyry copper (Karlievo) mineralizations in the Chelopech ore field manifested temperatures within the frames typical of these two types of copper ores.

Some of the most important features in temperatures development of the mineral-forming processes could be mentioned on the bases of data obtained through this study. The formation of intramagmatic mineraliza-

tions, as well as the postmagmatic products (skarns, pegmatites and hydrothermal alterations) is due to the highest temperature processes. Hydrothermal fluids resulting in the alterations of the host rocks are determined as high temperature, but having relatively low salinity concentration. Large volumes of meteoritic waters were probably involved in the systems, but they were heated in advance, so their influence did not significantly decrease the temperature of the hydrothermal systems. Some similarities between the temperature of formation of K-feldspatization and quartzitization in porphyry copper and deep-seated vein type deposits could be mentioned.

A ferrooxide mineralization (400-360°C) mostly spread in the porphyry copper deposits (Medet, Elatzite) marks the initial stage of the ore-forming processes. The quartz-pyrite association typical of the vein and massive copper-sulphide ores is formed a large temperature range. Higher temperatures in within this association are more often in vein type deposits where the spatial connection with the energy source is closer in comparison with the massive copper-pyritic deposits where the temperatures in this association are 220-225°C.

Close relations between the temperature of formations of the main economic copper mineralization (quartz-pyrite-molybdenite) in porphyry copper and vein deposits are established. This fact suggests that the differences in the mineral characteristics of the two types are due rather to the lithological and structural features than to the temperature of formation a quartz-molybdenite association developed only in porphyry-copper deposits was formed in temperature conditions relatively similar to those of the main copper mineralization. Lower temperatures were measured for the pyrite-quartz association in these deposits. The quartz-sphalerite-galena association is typomorphic for all three types and was formed towards the end of the ore-forming processes (320-180°C). In this case, the massive copper-pyritic deposits again manifest relatively lower temperatures (240-210°C). The end of the hydrothermal mineralization was marked by the formation of calcite-zeolitic and gypsum-anhydrite association under low temperature conditions.

The data obtained confirm the existence of straight vertical zonation in most deposits (Elatzite, Rossen, Elshita and Varli briag). The lateral zonation is more distinctly recognized in porphyry copper and vein deposits. The temperatures are higher in the central part of the ore deposits (and ore fields) near the upper cretaceous intrusive rocks and gradually decrease in the marginal parts. Relatively higher temperatures in porphyry-copper deposits and their localization in the apical parts (or close to them) of the intrusives suggest a closer connection between the temperature center and the ore-forming system in comparison with the vein, and especially with the massive copper-pyritic deposits. The specific type of host rocks, their preliminary thermal and tectonic treatment, as well as the depth of the mineral formation, have a significant influence on the configuration of the paleothermic field in the ore deposits studied. The sequence of deposition of differently composed mineral association is a result of the decrease in the internal energy of the hydrothermal systems. Some of these are very similar in the different types of copper deposits which stresses the similarity in the temperature conditions of formation and the related metallogenic specialization of the ore-generating sources.

Въведение

Необходимостта от изучаване на реалните параметри на рудообразователните процеси в медните находища от Средногорието стимулира в последните 10—15 години изследването на характера и особеностите на флуидните включения. За редица находища от района има публикувани данни, позволяващи да се получи в общи линии представа за температурния режим на рудообразователните процеси (К о л ъ к о в с к и, П е т р о в, 1974; П е т р о в, С л а в и л о в, 1980; Б о г д а н о в и др., 1980; П е т р о в, М и х а е л, 1980; К о в а ч е в, 1980; К о в а ч е в, С т р а ш и м и р о в, 1979; К о в а ч е в, 1981; С т р а ш и м и р о в, 1979, 1981; К р њ с т е в а, Р а ш к о в а, 1982).

Целта на настоящата работа е да представи нови данни за някои от медните находища и въз основа на критичен анализ на известния фактологичен материал да се направи опит за систематизиране на данните за температурния режим на рудообразователните процеси. Съпоставката на тези данни в различните типове медни находища от района позволява да се набележат някои особености в рудообразоването, представляващи интерес както при теоретичното тълкуване на процесите, така също и при практическата оценка на перспективни площи в Средногорието.

Методика на изследване

Основният обем от изследванията е осъществен върху двойно полирани пластинки от кварц (над 400 броя) от различни минерални парагенези в находища Елаците, Медет, Асарел, Радка, Елшица, Росен, Зидарово и Бакаджик. В отделни находища са изследвани калцит, сфалерит, хлорапатит, гипс и барит.

Кварцът, асоцииращ с рудните минерали, е основен обект за изследване на включенията, но в посочените находища той твърде рядко е представен от добре оформени, достатъчно прозрачни кристали. По правило установяваните в него включения са с твърде малки размери, което затруднява точното фиксиране на температурата на фазовите изменения в тях. Това налага известна предпазливост при използване на получените резултати и необходимостта да се отчитат редица обстоятелства, установени при изучаване на минералния състав на находищата.

Методиката на определяне на генетичния тип на включенията се базира на подходите, изложени в работите на R o e d d e r (1984), S h e p h e r d et al. (1985). Температурата на образуване на минералните асоциации е определена по метода на хомогенизация на газо-течни включения при условия, описани от К о в а ч е в и С т р а ш и м и р о в (1979). Точността на измерванията е $\pm 3^{\circ}\text{C}$, корекционни коефициенти за налягане не са използвани, доколкото в почти всички находища са наблюдавани явления на кипене на флуидите.

Медно-порфирни находища

Изследвани са медно-порфирни находища от Централното Средногорие (Елаците, Медет, Асарел), а за находищата Прохорово и Студенец са използвани публикувани данни (Б о г д а н о в, Б о г д а н о в а, 1978; П е т р о в, М и х а е л, 1980).

Получените резултати извяват като относително най-високо температурно находище Елаците (табл. 1). Локализирано е на контактите на скали от диабаз-филитоидния комплекс, гранити от Етрополския интрузив, горнокредни монцоиенити и кварц-диоритови порфирити. В него са представени 8 ендеогенни минерални парагенези, от които промишлено значение имат кварц-халкопиритната, кварц-молибденитовата и кварц-пиритовата (Д и м и т р о в, 1974). При нашите изследвания е опробван разрез от 165 m в открития рудник „Елаците“.

В кварца, отложен до началото на рудообразуването, асоцииращ с К-фелдшпат биотит и серицит, се установяват твърде малки по размери включения (до 5 μm , предимно газови еднофазни и рядко двуфазни). Температурите на хомогенизация са високи (над 450°C), но поради малките размери на вакуолите горната граница не може да бъде фиксирана с точност. Подходящи за измерване първични двуфазни включения са установени в кварц, асоцииращ с магнетит и спекуларит, в централната част на рудното тяло. Размерите им достигат до 10 μm , а съотношението между газовия мехур и течната фаза варира от 1:3 до 1:5. Тази група включения се характеризира с устойчив температурен интервал на хомогенизация ($360\text{--}390^{\circ}\text{C}$).

Особено наситени с включения са дребни (до 3—4 mm) прозрачни кварцови кристалчета, прораснали с халкопирит от промишлената медна парагенеза в централната част на находището. Установени са сравнително големи (до 35 μm) трифазни включения, както и по-малки по размери двуфазни включения с ясно изразен първичен генезис. Твърдите фази в трифазните включения са представени от прозрачни кубични кристали от халит (?) и полупрозрачни наситено червени плоски кристали от хематит (?). Трифазните включения показват висока температура на хомогенизация в диапазона $476\text{--}415^{\circ}\text{C}$. Двуфазните включения имат широк диапазон на хомогенизация — $460\text{--}330^{\circ}\text{C}$, но преобладават стойности между 330 и 380°C .

Получените данни показват, че рудообразователните разтвори, отложили медната минерализация, са имали относително висока температура и част от тях са били с висока концентрация на соли. Тези резултати се различават от публикуваните по-рано данни на Д и м и т р о в и К р ъ с т е в а (1984), които сочат като температурен диапазон за образуване на промишленото орудяване интервала $180\text{--}80^{\circ}\text{C}$. По всяка вероятност в обсега на техните наблюдения са попаднали предимно вторични включения, които в изследваните от нас образци показват подобна температура. Установяването на трифазни включения в централната част на находището, където орудяването е

Таблица 1

Температури на образуване на минералните асоциации в медните находища от Средногорieto (°C)

Table 1

Temperatures of the formation of mineral associations in copper deposits from the Srednogorie zone (°C)

Рудно поле	Находища	Минерални асоциации																			
		предрудни		рудни						следрудни											
		фелдшпацизация	окварцаване	кварц-Fe-окисна	кварц-пиритна I	кварц-пиритна на ± молибденит	кварц-пиритна II	кварц-галениг-сфалеритна	карбонат-зеолити	гипс-анхидрит											
Медно-порфирен тип																					
	Елаците	>450	>450	390—360	не	470—330	360—310	300—260	240—230	250—190	не										
	Медет	>450	>450	400—370	не	390—320	330—300	310—280	280—240	240—200	не										
	Асарел	230 до	193	—	310—290	не	195—150	230—215	—	—	140—120										
	Студенец	—	—	—	не	340—330	360—340	330—270	320—120	120—100	не										
	Карлиево	—	—	—	не	340—250	260—245	—	240—230	100	не										
	Жилен тип	>400	>400	—	не	360—340	350—330	—	270—200	220—190	не										
Росенско	Росен	>450	>450	—	—	330—275	не	не	не	300—100	не										
	Меден рид	>450	>450	—	—	365—320	не	не	не	300—100	не										
	Циплака	>450	>450	—	—	325—300	не	не	не	300—100	не										
Зидаровско	Капарата	450 до	390	—	460—320	340—220	не	—	295—210	110	не										
	°Юрга	450 до	390	—	—	не	не	—	300—200	200—100	не										
Върлибрешко	Трапичага	—	—	—	—	350—300	не	—	310—250	200—160	не										
Бакаджишко	Воздол	—	—	—	—	350—310	не	—	260—180	170—140	не										
Челопешко	Медно-пиритен тип	—	—	—	370—320	—	не	—	—	—	не										
Радкинско	Радка	—	—	не	245—225	—	не	—	—	—	не										
Елшишко	Елшица	—	400—390	—	250—235	240—220	не	не	220—210	—	не										

не — асоциацията не е представена

— липсват представителни данни.

пространствено привързано към монцосиенитите и кварцдиоритовите порфири, и на широкия диапазон на температурите, измерени в двуфазните включения, насочва към възможността за смесване на постмагмени флуиди с висока температура и солева концентрация с по-хладни метеорни води от рамката на находището.

Температурите на хомогенизация на включения в сив непрозрачен кварц от кварц-молибденовата парагенеза (360—310°C) са близки до тези в двуфазните включения от предходната асоциация. В кварц от кварц-пиритната и полиметалната парагенеза¹, представени под формата на добре обособени жили, са измерени температури съответно 300—260 и 232—243°C. Често се установяват типични вторични включения, хомогенизиращи в диапазона 180—120°C. Установените температури в калцит (250—140°C) ясно маркират понижаването им в края на минералообразователните процеси.

Находище Медет е локализирано в апикалните части на Медетския интрузив, внедрен в рамка от метаморфни скали (У ш е в и д р., 1962). По време на рудообразователните процеси се формират 7 ендеогенни минералопарагенетични асоциации, от които с главно промишлено значение е кварц-пирит-халкопиритната. Температурният режим и солевата концентрация на минералообразуващите флуиди в находището са изследвани от С т р а ш и м и р о в (1979, 1981). Рудообразователният процес се развива в диапазона 400—200°C, а установената солева концентрация е сравнително ниска — около и под 12% NaCl еквивалент. В кварц от централната част на находището, асоцииращ с магнетит и хематит, са установени трифазни включения. Те са подобни на включенията в кварца от кварц-халкопиритната асоциация в находище Елаците. За разлика от тях хомогенизират при сравнително по-ниски температури (400—370°C).

Изучените от нас образци са от почти 500-метров разрез в открития рудник. Регистрираните температури в кварц (табл. 1) от кварц-пирит-халкопиритната, кварц-молибденитовата и кварц-пиритната асоциация попадат в диапазона на установените в образци от по-високите хоризонти (С т р а ш и м и р о в, 1979, 1981). Слабо увеличение се регистрира единствено в отделни образци от кварц-пирит-халкопиритната асоциация, в която доминират включения с температура на хомогенизация 350—390°C. Този извод се допълва и при изследване на образци от 400-метров сондаж, прокаран от дъното на кариерата. Характерът на орудяването в сондажната ядка е аналогичен на минерализацията в кариерата. Това показва, че по време на промишленото рудообразуване системата е била устойчива в термодинамично отношение, с относително еднородно температурно поле, довело до отлагането на еднотипната минерализация. Съвременните изследвания върху условията на минералообразуване показват, че медно-порфирните находища са резултат на развитието на сложна рудомагматична система, обхващаща значителен вертикален интервал — 2—7 km (R o e d d e r, 1984). В това отношение находище Медет не прави изключение.

Находище Асарел е локализирано в интензивно променени вулкански скали, изграждащи вулкано-плутонична постройка от централен тип с горнокредна възраст (А н г е л к о в, 1973; П о п о в и др., 1989). Характерът на преобладаващите хидротермални промени (пропилитизация, кварц-серичитизация, аргилизация) и получените резултати от минералотермометричните изследвания в находището го определят като сравнително най-ниско температурно сред меднопорфирните находища от Централното Средногорие. Проведените изследвания върху характера на хидротермалните метасоматити от находището очертават двукратна проява на хидротермалната система, включваща поствулкански и постинтрузивен етап (А р н а у д о в а и др., 1991). Прекъсване в развитието на хидротермалната дейност е отбелязано и в минералотермометричните изследвания на Б о г д а н о в и др. (1980), които разделят минералните асоциации на доруден и руден стадий, формиращи се при температури 230—193 и 311—120°C.

При настоящите изследвания не са установени подходящи за измерване включения в кварц, свързан с хидротермалната промяна на поствулкански етап. В кварц, асоции-

¹ Образци от кварц-сфалерит-галенитови жили любезно ни бяха предоставени за изследване от инж. Д. Д р а г а н о в.

раш с халкопирит (табл. 1), са измерени температури на хомогенизация в интервала 300—320°C. Те са близки до получените от Богданов и др. (1980) за рудния стадий.

Възможно обяснение за относително по-ниските температури в това находище може да се търси, отчитайки интензивния характер на тектонските деформации и промяната на скалите, предхождащи формирането на рудообразователната система. Наличието на множество пукнатини, на ясно изразени разломи около централната част на вулканската структура и на относително по-високата порестост на променените вулканици създава условия за интензивен топлообмен и активно включване на води с немагмен произход в системата. Това води до забележимо понижаване на температурата и концентрацията на минералообразуващите флуиди. Наличието на пропилитизация и аргилитизация в находището също е косвен белег за наличието на вадозни води във флуидната система (Ргеее, Веане, 1982). Причина за рудообразуване при такива условия е най-вероятно сравнително малката дълбочина, на която действа хидротермалната система.

Медни и медно-полиметални жилни находища

Тази група находища е представена в източната част на Средногорската зона. В настоящата работа са изследвани Росенското, Зидаровското и Бакаджишкото рудно поле, а за Върлибрежкото рудно поле са използвани литературни данни (Колъковски, Петров, 1974).

Росенското рудно поле е локализирано в западната периферия на полифациалния Росенски интрузив и неговата рамка от горнокредни вулкански скали. Рудните жили са развити по разломи с преобладаваща СИ посока и са обособени в 6 отделни находища с почти еднакъв минерален състав и структурни особености.

Изучени са образци от находищата Росен, Меден рид и Чиплака, с което се осигурява представителност за цялата площ на рудното поле (табл. 1). Неголям брой подходящи за изследване включения са установени в кварц от промишлената медна асоциация. Най-високи температури на хомогенизация (320—365°C) са регистрирани в централната част на полето (находище Меден рид). Тези данни са малко по-високи от публикуваните в литературата — 320°C (Кръстева, Рашкова, 1982). По-забележими са разликите в температурите за находище Росен, където получените от нас резултати са в интервала 330—270°C, а публикуваните досега (Кръстева, Рашкова, 1982) обхващат диапазона 270—70°C. В находище Чиплака подходящи за изследване включения са установени в образци от кварц-пирит-халкопиритната асоциация. Измерените тук температури (300—324°C) са близки до тези в находище Росен.

Получените резултати дават основание да се предполага, че по-високотемпературните флуиди са постъпвали по структурите в централната част на рудното поле (находище Меден рид), докато в периферията са циркулирали разтвори с по-ниска температура. Като цяло образуването на главната промишлена парагенеза в Росенското рудно поле е станало в характерния за находищата от Бургаския руден район температурен интервал — 360—275°C.

Зидаровското рудно поле включва група рудни жили, свързани с горнокредна палеовулканска структура, централен тип. Жилите са локализирани на запад и северозапад от повърхностното разкритие на Зидаровския интрузив, представен от есексити, монцодиорити и монцонити (Маринов, 1980). В рудното поле се обособяват две находища — Канарата, разположено в непосредствена близост до интрузива, и Юрта, заемащо СЗ част на рудното поле. Двете находища се различават отчетливо по своя минерален състав (Ковачев, 1980, 1990). В Канарата преобладава медно-бисмутов тип орудяване, а медно-полиметални асоциации със злато са характерни за находище Юрта. В рудното поле са изследвани флуидни включения в хлорпатит, кварц, калцит и сфалерит (Ковачев, Страшимиров, 1979). Очертава се един

твърде широк температурен диапазон на минералообразуване (табл. 1), започващ с температура, по-висока от 600°C, по време на образуване на интермагматичния тип минерализация. Предрудната промяна на вместващите скали обхваща диапазона 460—390°C, промишленото орудяване се формира при температури 340—250°C, а в периферията на рудното поле измерените температури са 295—210°C (халкопирит-галенит-сфалеритов тип орудяване). Добре изразената концентрична температурна и минерална зоналност имат за център разкритата част на Зидаровския интрузив, който е и основният енергиен източник на рудообразователната система. Термичният фронт, предизвикан от влиянието на интрузива, се развива върху термично активен субстрат, последица от по-рано проявения вулканизъм. В резултат палеотемпературното поле се характеризира с нееднородност, обусловена от наличието на три участъка, различаващи се по палеотемпературни градиенти (К о в а ч е в, 1981). Наличието на голям брой температурни максимуми кореспондира с възможното присъствие на апофизи на Зидаровския интрузив.

Върлибрежкото рудно поле обединява около 20 рудни жили с преобладаваща СИ посока и стръмен наклон на ЮИ и СЗ. И тук строежът на рудното поле се предопределя от пространствена връзка с палеовулканска структура от централен тип, представена от интрузив и вулкански комплекс (П о п о в, 1977). Температурният диапазон на формиране на промишлената кварц-халкопиритна парагенеза е от 360 до 250°C (К о л ъ к о в с к и, П е т р о в, 1974). В тези изследвания се отбелязва, че развитието на хидротермалния процес започва при относително по-ниска температура (300°C), след което се повишава с около 60°C и после рязко спада. Впоследствие се формира кварц-галенит-сфалеритова парагенеза (300—200°C), а краят на процеса се маркира от калцитови жили (200—100°C). Регионалната температурна зоналност се бележи от постепенното понижаване на температурите в СИ посока, съвпадаща с отдалечаване на рудовместващите структури от Върлибрежкия интрузив.

Бакаджишкото (Тамаринското) рудно поле попада в най-западната част на Бургаския руден район и в структурно отношение е привързано към Тамаринския палеовулкан. Минералообразователните процеси в рудното поле са разгледани в работите на Б о н е в (1972, 1973), в които се обосновава многоимпулсен характер на хидротермалната дейност. Образуването на двата типа промишлена минерализация (златно-медно-бисмутова и полиметално-златна) се свързва от този автор с различни етапи от развитието на вулканизма в района. Съществуващите факти противоречат на това твърдение (П о п о в и д р., 1976; Б о г д а н о в, 1987) и като по-логични се налагат представите за непрекъснато-прекъснат характер на рудообразователните процеси и последователно формиране на минералните парагенези в условия на понижаване се температура. Получените от нас данни (табл. 1) при изследване на кварц от двете главни промишлени асоциации в участък Трапищата също подкрепят идеята за плавно изменение на температурата на рудообразуване.

В кварц, асоцииращ с пирит и халкопирит, са измерени двуфазни включения с температура на хомогенизация от 350 до 310°C. В четири случая отчетливо се наблюдава хомогенизация от течност в газ, което е косвено указание за развитието на процеси на кипене на разтворите, отложили орудяването. Кварцът, асоцииращ с галенит и сфалерит, се характеризира с многобройни, но твърде дребни включения, хомогенизиращи с интервала 310—250°C. Част от тях са вторични и хомогенизират в интервала 200—160°C. В този интервал хомогенизират първични включения в калцитови прожилки, пресичащи рудната минерализация. Отбелязаните температури на хомогенизация и минераложките особености в Бакаджишкото рудно поле показват най-голямо сходство с тези от Зидаровското рудно поле.

Масивни медно-пиритни находища

Към тази група се отнасят находища Елшица, Радка и Челопеч, намиращ се в Централното Средногорие. В сравнение с описаните по-горе находища от другите два типа тук кварц, асоцииращ с рудните минерали, се установява твърде рядко. По-често се срещат гипс и анхидрит, флуидните включения в които дават представа за по-късните етапи от развитието на минералообразователната система.

Находище Елшица се намира в южната част на Панагюрския руден район и е вместено в зона на интензивна хидротермална промяна, засягаща вулканитите в близост до Елшишкия интрузив. Сведения за минералообразуването в находището са дадени от Богданов и Богданова (1974) и Цонев (1986). Минералотермометрични изследвания не са правени с изключение на единични измервания на включения в кварц, асоцииращ с пирит (Цонев, 1986).

Най-високи температури при настоящите изследвания са измерени в кварца, образуван по време на хидротермалната промяна, предхождаща образуването на рудните минерали. Установяват се относително големи (7—10 μm) първични включения. Измерените температури на хомогенизация в тях попадат в твърде тесен диапазон — 400—390°C. По всяка вероятност кварцът се отнася към кварц-фелдшпатовия или кварц-серицитовия фацис на хидротермалните метасоматити. За другите два типа промени (хлорит-албитов и хлорит-епидот-албитов) не са установени точни температурни диапазони. Изхождайки от изследванията на Цветанов (Попов и др., 1986), който установява ломонит в втория тип промяна, се предполагат средно-температурни условия на образуване (250—350°C).

В кварца, асоцииращ с пирит, са измерени температури на хомогенизация в интервала 240—250°C. По-високите стойности (около 250°C) са характерни за по-дълбоко разположените хоризонти. образуването на тази генерация кварц продължава и през следващите периоди на рудообразователната дейност, тъй като кварц, асоцииращ с халкопирит, показва температури на хомогенизация 220—240°C, а кварц в асоциация с галенит — 220—210°C. Близки до тези температури са и измерените в анхидрит. Включенията тук са удължени, газовият мехур е малък и генезисът им не е ясен. Многобройни включения се установяват в образци от напълно прозрачен гипс. Те са с големи размери (до 30—40 μm), газовият мехур е безцветен или по-рядко тъмно оцветен. При нагряване до около 150°C пластинките от гипс стават непрозрачни, тъй като гипсът преминава в анхидрит, но изхождайки от динамиката, с която намалява газовият мехур, може да се предполага температура на хомогенизация около 160—165°C.

От приведените изследвания се заключава, че хидротермалните промени в находището се осъществяват при забележимо по-високи температури (400—250°C), докато рудната минерализация се образува при нискотемпературни условия (250—160°C).

Находище Радка е разположено на североизток от находище Елшица, в северното крило на Овчехълмската антиклинала (т. нар. „Попинско понижение“). Орудняването е вместено в дацити и рудните тела са шокообразна, лещовидна и рядко жилоподобна форма. Минералният състав в сравнение с този от находище Елшица е по-разнообразен (Цонев, 1986).

Минералотермометричните изследвания обхващат включения в асоцииращ с пирит кварц и анхидрит от финалната гипс-анхидритова асоциация (табл. 1). Температурите на хомогенизация на включенията в кварца съвпадат с установените в находище Елшица (244—225°C), което насочва към близки термодинамични параметри на двете рудообразователни системи. Добре изразена права температурна зоналност се изяснява при изследванията на анхидрит от сондажи в диапазона от 265 до 800 m от повърхността. В най-дълбоките части температурата на хомогенизация на включения в анхидрита е около 230°C, в средните интервали тя варира между 190 и 210°C, а в горната част на интервала е 180°C.

В масивните сулфидни руди от Челопешкото рудно поле не са установени минерали, пригодни за минералотермометрични изследвания. Тук са проведени наблюдения върху образци от жилния тип орудяване, представен в находище Воздол, и медно-порфирното орудяване в рудопроявление Карлиево (табл. 1).

Обсъждане на получените резултати

Въз основа на настоящите резултати и публикуваните досега данни температурните особености на минералообразователните процеси в медните находища от Средногорието могат да бъдат систематизирани по последователност на тяхното протичане, както следва:

1. Процеси, свързани с магматизма. Данни за температурния режим на минералообразователните процеси до началото на развитието на същински хидротермалните системи в тях почти липсват. В хлорапатит, образуван по време на интрамагматични процеси в Зидаровското рудно поле, са регистрирани температури над 600°C . Б о г д а н о в и Б о г д а н о в а (1978) привеждат косвени доказателства за температури над 500°C по време на скарновите процеси в находище Прохорово. С високи температури и висока солева концентрация се отличават постмагмените флуиди, отложили пегматитовите жили в района на Росенското рудно поле (П е т р о в, С л а в и л о в, 1978). В изброените случаи е налице тясна темпорална и пространствена връзка с проявения в съответните райони магматизъм, което обяснява високотемпературния режим на минералообразователните процеси.

2. Хидротермални промени до началото на рудообразователните процеси. Отдръпването на енергетичните източници в дълбочина създава условия за развитие на системи от постмагмени флуиди, обуславящи различни по характер промени на вместващите скали. Отсъствието на трифазни включения, установените еднофазни включения и високите температури на хомогенизация на двуфазните включения характеризират флуидите като високотемпературни, с относително ниска солева концентрация и висока наситеност с газове. По-ниската солева концентрация предполага включаване в системите на големи обеми метеорни води. Те са предварително подгreti до висока температура благодарение на циркулацията им в близост до интрузивните и включването им в хидротермалните системи не води до рязко спадане на тяхната температура. Изключение в това отношение прави находище Асарел, където двуетапното развитие на хидротермалните промени, блоковото разчленяване на находището и формирането му на сравнително малка дълбочина са довели до участие на по-хладни метеорни води, понижаващи температурата на флуидната система. Най-високи са температурите на образуване ($>450^{\circ}\text{C}$) на фелдшпатизацията и окварцяването, проявени в медно-порфирните и жилните находища, формирани на голяма дълбочина (Росенско рудно поле). Образуването на другите типове хидротермални промени протича в диапазона $450\text{—}390^{\circ}\text{C}$. За медно-пиритните находища долната граница е вероятно по-ниска ($250\text{—}350^{\circ}\text{C}$).

3. Образуване на железooкисни минерализации в началото на рудообразователните процеси. Началото на рудообразователната дейност в почти всички находища се маркира от образуването на кварц-железоокисна минерализация. Изследванията в две от медно-порфирните находища (Медет и Елаците) показват, че температурите на флуидите тук са в диапазона $400\text{—}360^{\circ}\text{C}$. В находище Медет се установява повишаване на концентрацията на флуидите, свързано със засиленото отделяне на флуиди от магменото огнище в дълбочина, в резултат на което в кварца се установяват трифазни включения с висока температура на хомогенизация.

4. Образуване на промишлени сулфидни руди. Кварц-пиритната асоциация е характерна за жилните и масивните медно-пиритни находища. В медно-порфирните тя е представена само в находище Асарел, където вероятно е формирана още през първия етап на поствулканската хидротермална дейност. По-високи температури за тази асо-

пация се отбелязват в жилния тип находища (Канарата, Зидаровско рудно поле, и Воздол, Челопешко рудно поле). Установените температури в находище Канарата кореспондират с по-голямата близост до енергетичния източник, в случая незастиналите части на Зидаровския интрузив. В медно-пиритните находища асоциацията се образува в чувствително по-нисък температурен интервал (250—225°C).

Основната промишлена асоциация (кварц—пирит—халкопирит—молибденит) е развита във всички находища. Съществува голяма близост в температурните условия на формиране на тази асоциация в медно-порфирните и жилните медни находища. С изключение на находище Елаците, в което началото на сулфидното рудообразуване се характеризира с отделяне на флуиди с твърде висока температура и солева концентрация, в останалите находища от тези две групи медната минерализация се образува в диапазона 370—250°C. Това показва, че разликата в характера на орудяването в медно-порфирните и жилните медни находища до голяма степен се дължи на литоложките и структурни фактори и в по-малка степен на температурната характеристика на флуидите. В сравнение с тях температурите в масивните медно-пиритни находища са чувствително по-ниски (240—220°C). В находище Елаците отделените флуиди в началото на образуване на промишлената асоциация са били с относително по-висока соленост и хетерогенен състав. В това отношение находището се приближава до класическите образци на медно-порфирните находища (R o e d d e r, 1984), докато Медет и Асарел са по-близки до находищата с по-ниска температура и соленост на флуидите, описани от Theodore, Meneic (1984) (по R o e d d e r, 1984).

Кварц-молибденовата асоциация е представена само в меднопорфирните находища. Проведените текстурни наблюдения върху образци от находищата Медет, Елаците и рудопроявление Карлиево показват, че в повечето от случаите прожилките от кварц и молибденит пресичат прожилки и впръследи с халкопирит и пирит. Измерените температури на хомогенизация в кварца (360—310°C) са близки или по-ниски от температурите на кварц-пирит-халкопиритовата асоциация. По-ниски температури (260—245°C) се отбелязват в находище Студенец (П е т р о в, М и х а е л, 1980).

Кварц-пиритната жилна асоциация е представена също така само в медно-порфирните находища. С изключение на Асарел (Б о г д а н о в и др., 1980) в останалите находища тя заема температурния интервал 330—260°C.

Кварц-сфалерит-галенитовата асоциация е една от късните типоморфни асоциации във всички от разглежданите находища. В медно-порфирните находища тя е представена по-оскъдно, докато в повечето от жилните има изразено присъствие. За нейното образуване е характерен диапазонът 320—180°C, като и тук медно-пиритните находища се отличават с по-ниски температури (220—210°C).

5. Образуване на следрудни асоциации. Финалът на хидротермалната дейност се бележи от калцит-зеолитна асоциация, представена във всички находища, и гипс-анхидритна асоциация, характерна за медно-пиритните и някои от жилните и медно-порфирните находища. Те се образуват при ниски температури (под 250°C). Изключение прави Росенското рудно поле, в което се отбелязват по-високи температури, до 300°C (К р ъ с т е в а и Р а ш к о в а, 1982).

Описаните по-горе особености в температурното развитие на минералообразуването оказват влияние върху проявата на температурна и минерална зоналност в повечето от медните находища. В Елаците, Росен, Елшица и Върли бряг е налице отчетлива права вертикална температурна зоналност.

Хоризонталната температурна зоналност е проявена по-добре от вертикалната в почти всички находища. Получените резултати показват по-високи температури на флуидите в централните части на рудните полета и постепенното им намаляване към периферията. Отчетливо това личи в някои от жилните находища (Зидаровско и Върлибрежко рудно поле), както и при медно-порфирните (Елаците, Медет), докато при масивните медно-пиритни находища тази закономерност е по-слабо проявена. Това е основание да се смята, че незастиналите участъци от магмените огнища са основният енергетичен източник на рудообразователните флуидни системи и контролират както

вертикалната, така и хоризонталната температурна зоналност. Твърде малко са конкретните данни за точното определяне на пространствената позиция на енергетичния източник във всеки отделен случай. Относително по-високите температури при медно-порфирните находища и локализацията им в апикалните части на интрузивите или в непосредствена близост до тях предполагат по-малки пространствени различия между температурния център и рудообразователната система в сравнение с жилните и особено с медно-пиритните находища. При оценка на конфигурацията на палеотемпературното поле съществено влияние оказват характерът на вместващите скали, тяхната предварителна температурна обработка, както и степента на тектонските деформации. Не на последно място следва да се отчита и влиянието на метеорните води и дълбочината на минералообразуване, които в отделните находища е различна. В находищата, образувани на по-малка дълбочина, е засилено влиянието на води с немагмен произход (например медно-пиритните находища и медно-порфирното находище Асарел).

В заключение може да се отбележи, че съществува причинна обусловеност на минералообразователните процеси в медните находища, свързани с горнокредния магматизъм в Средногорието. Развитието на хидротермалните системи се характеризира с намаляване на температурата им и миграция на температурните центрове в дълбочина. Като резултат от намаляване на вътрешната енергия на минералообразователните системи се образуват различни минерални асоциации. Една част от тях са приблизително еднакви във всички находища, като по този начин подчертават подобие на минералообразователните процеси. Друга част от минералните парагенези се характеризира със съществени различия, дефинирайки конкретните особености на всяка хидротермална система.

Л и т е р а т у р а

- Ангелков, К. 1973. Геологоструктурни фактори за образуване на медното находище Асарел, Панагюрско. — В: *Юбил. сборник 20 год. ВМГИ*, 2, 94—102.
- Арнаудова, Р., П. Попов, Ив. Петков, П. Петров. 1992. Хидротермални метасоматити от медно-порфирното находище Асарел и тяхната структурна привързаност. — *Год. ВМГИ* (под печат).
- Богданов, Б. 1987. *Медните находища в България*. С., Техника. 387 с.
- Богданов, Б., Р. Богданова. 1974. Минерални парагенези на меднопиритните находища в Панагюрския руден район. — В: *Минерогенезис*. С., БАН, 263—275.
- Богданов, Б., Р. Богданова. 1978. Минерало-парагенетични асоциации и генетични особености на медно-порфирното находище Прохорово, Ямболско. — *Трудове на НИПИ*, 1, 175—184.
- Богданов, Б., Р. Богданова, М. Кръстева. 1980. Температура на рудообразуване на медно-порфирното находище Асарел. — *Рудообр. проц. и минер. находища*, 12, 44—52.
- Бонев, П. 1972. Геоложки особености на вулканогения комплекс от Бакаджишкото рудно поле. — *Год. ВМГИ*, 16, 2, 15—26.
- Бонев, П. 1973. *Минералогия и стадийност на златополиметалното находище Бакаджик, Ямболско*. Автореф. на дис., 29.
- Димитров, Ст. 1974. Разпределение на елементите-примеси в главните рудни минерали от находище Елаците, Етрополско. — *Изв. ГИ на БАН, сер. рудни и неруд. пол. изк.*, 23, 259—273.
- Димитров, С., М. Кръстева. 1984. Минералотермометрични изследвания на кварц от върнатото медно-молибденово находище Елаците. — *Рудообр. проц. и минер. наход.*, 21, 25—29.
- Ковачев, В. 1983. Рудообразователные процессы Зидаровского рудного поля (Восточное Средногорие). — *Ann. Inst. Geol. et Geophys.*, Bucaresti, 42, 3, 169—177.
- Ковачев, В. 1981. Особенности на горнокредното палеотемпературно поле в находище Зидарово и връзката му с рудната минерализация. — *Год. ВМГИ*, 27, 51—59.
- Ковачев, В., Стр. Страшимиров. 1979. Минералотермометрични изследвания и температурна зоналност в Зидаровското рудно поле. — *Сп. Бъл. геол. д-во*, 30, 1, 101—108.
- Ковачев, В. 1990. Форма на присъствие на редките и благородните елементи в Зидаровското рудно поле. — *Год. ВМГИ*, 36, 1, 131—145.
- Кольковски, Б., П. Петров. 1974. Температурные условия формирования некоторых гидротермальных месторождений Болгарии. — *Проблемы Рудообразования*, IV симп. IAGOD. С., БАН, 2, 135—140.

- Кръстева, М., Д. Рашкова. 1982. Минералотермометрични изследвания на апатит, кварц и калцит от находищата от Росенското рудно поле. — *Геохим., минерал. и петрол.*, 16, 47—54.
- Маринов, Т. 1980. Алкалните интрузивни скали в района на с. Зидарово, Бургаско. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 41, 2, 112—119.
- Петров, П., Ив. Славилков. 1978. Включения с минералообразуващи разтвори в кварц от пегматити в Росенския плутон, Бургаско. — *Год. Соф. унив., Геол. геогр. фак., геология*, 70, 1, 323—328.
- Петров, П., К. Михаил. 1980. Минералотермометрични изследвания в медно-молибденовото находище Студенец (Плана планина). — *Год. Соф. унив., Геол. геогр. фак., геология*, 73, 1, 175—182.
- Попов, П. 1977. Структура Върлибрияшко меднорудно поле. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 38, 3, 301—307.
- Попов, П., Т. Маринов, П. Петров. 1976. Върху структурата и магматизма на Тамаринското рудно поле. — *Год. ВМГИ*, 22, 2, 199—210.
- Попов, П., В. Ковачев, Р. Цветанов. 1986. Генетическа модель полиметаллически-медни месторождения в вулканоплутоническите структурах Бургаского района. — *Год. ВМГИ*, 32, 2, 57—69.
- Попов, П., К. Ангелков, С. Страшимиров, Р. Арнаудова. 1989. Месторождение Асарел. — В: *Альпийски магматизъм Средногория и Восточни Родопи и свързаната с тях металогения*. Путеводител за екскурсия Е-2, С., 14—18.
- Страшимиров, Стр. 1979. Минералотермометрични изследвания на кварц от находище Медет. — *Год. ВМГИ*, 25, 2, 209—219.
- Страшимиров, Стр. 1981. Криометрични изследвания на кварц от находище Медет. — *Год. ВМГИ*, 27, 2, 73—80.
- Ушев, А., Ст. Чипчаклова, Кр. Ангелков. 1962. Медетският плутон и свързаното с него медно месторождение Медет — Панагюрско. — В: *Приноси геол. България*, 1, 69—149.
- Цонев, Д. 1986. *Първичен минерален състав и минералообразователни процеси в находище Радка и Елишица, Централно Средногорие*. Автореф. на дис. С. 17 с.
- Реезе, Ш. Р. Р., Р. Е. Веане. 1982. Contrasting evolutions of hydrothermal alteration in quartz monzonite and quartz diorite wall rocks at the Sierrita porphyry copper deposits, Arizona. — *Econ. Geol.*, 77, 1621—1641.
- Roedder, E. 1984. *Fluid Inclusions*. Miner. Soc. of Am., Reviews in Mineralogy, 12, 632.
- Shepherd, T., A. H. Rankin, D. H. M. Alderson. 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Glasgow, Blackie and Son, 239 p.

(Постъпила на 27. V. 1991 г.)