

Кварц-молибденитовите жили от находище Бърдце, Малко Търново

Й. Йорданов¹, И. И. Бонев², В. Иванова-Панайотова¹

¹ Геологически институт на БАН, 1113 София

² Меднообогатителен комбинат „Бургаски медни мини“, Бургас

J. Jordanov, I. I. Bonev, V. Ivanova-Panaiotova — The quartz-molibdenite veins from Bårdce Deposit, Malco Târnovo. Bårdce deposit is located in Malco Târnovo ore field and is characterized by different types of mineralizations. The skarn and stockworktype copper and copper-molibdenite mineralizations are most widespread. Quartz-molibdenite veins, paragenetically related to the granitoid phases of the pluton, are also of considerable importance. The granitoids are affected in all places by K-feldspar metasomatism and silicification. In the granitoids, near the quartz-molibdenite veins, hydrothermally altered zones with quartz-muscovite facies and adularization occur. The quartz-molibdenite veins contain mainly molibdenite and in lesser amounts — tennantite and tetrahedrite. Bornite, chalcocite, aikinite, wittichenite, digenite, joseite B, tetradimite and sheelite are less common. The latter mineral occurs also outside the veins, in the hydrothermally altered granitoids. The non-metalliferous mineral in the veins is mainly quartz. The presence of adular — a new mineral for the deposit, is typical.

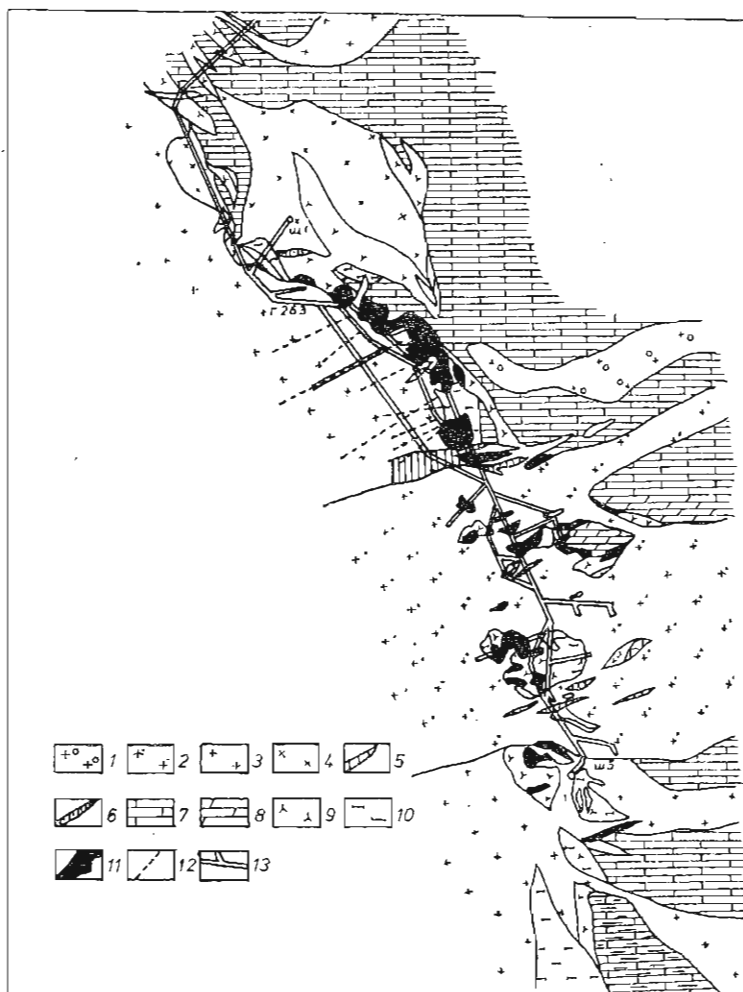
Находище Бърдце попада в югоизточния фланг на Малкотърновското рудно поле, което включва няколко медни и медно-железни находища в контактния ореол на едноименния плутон.

Наличието на щокверков тип медно-молибденова минерализация в находище Бърдце, свързана с киселите наставки на Малкотърновския плутон, е отбелязано още от първите изследователи на находището (В а с и л е в и др., 1964). По-късно бяха проучени и доказани промишлени запаси от този тип руди. Същевременно сред скалите на гранитовата наставка на плутона в северния фланг на находището бяха установени кварц-молибденитови рудни жили. Настоящата работа е опит да се направи характеристика на този нов и перспективен за района тип орудяване.

Геолого-структурна позиция на находището

Малкотърновският плутон е разположен в пределите на Странджа планина югозападно от Малко Търново. Той е съставен от шест интрузивни наставки — габропироксенитова, сиенодиоритова, диоритова, гранитова, гранитпорфиорова и левкократна гранитпорфиорова (В а с и л е в и др., 1964). Възрастта на интрузива е горнокредно-палеоценска. Внедрен е при хипоаби-

сални условия в регионално и дислокационно метаморфозирани теригенни и теригенно-карбонатни скали, възрастта на които е все още дискуссионна — юрска (В а с и л е в и др., 1964) или палеозойска (Н а ч е в, 1972, 1976, 1979; М а л я к о в, 1976; С е р г е е в а и др., 1979). В резултат на кон-



Фиг. 1. Геоложки план на находище Бърдце, хоризонт 260

1 — левкогранит порфири; 2 — гранитпорфири и гранодиорит порфири; 3 — гранити и гранодиорити; 4 — диорити и кварцдиорити; 5 — диоритпорфиритови дайки; 6 — габропорфиритови дайки; 7 — мрамори; 8 — доломити; 9 — скарни; 10 — хорнфелзи и скарноиди; 11 — рудни тела в скарните; 12 — кварц-молибденитови жили; 13 — минни изработки

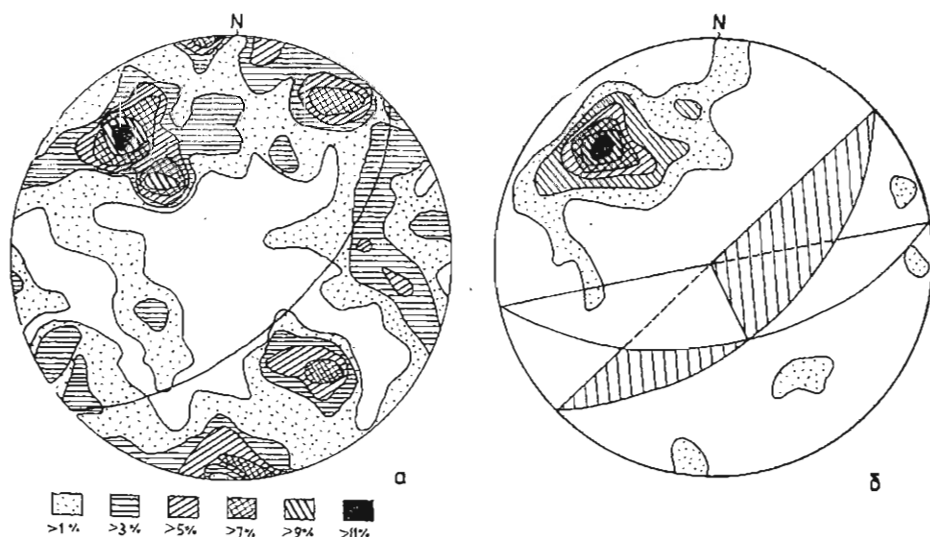
тактното въздействие на интрузива върху мраморите и теригенно-карбонатните скали е образуван ореол от магнезиални и калциеви скарни, скарноиди и хорнфелзи.

Находище Бърдце е разположено в контакта на киселите наставки на плутона. Последните са характерна негова особеност и определят специфичната му металогения — повишени съдържания на молибден, волфрам и бисмут в рудите.

Гранитовата наставка на Малкотърновския плутон е внедрена по субмеридионален разлом, почти успореден на оста на Малкотърновската антиклинала. Състои се от биотитови гранити и гранодиорити. Следващата, гранитпорфировата наставка е внедрена по субпаралелен разлом и разсича гранитите и свързаните с тях контактни скали (фиг. 1).

В скарните и скарноидите като лещи и рудни стълбове е отложено медно-пиритно орудяване. Освен мед, апоскарновите руди съдържат молибден, волфрам, бисмут, селен, телур, злато и сребро (Василев и др., 1964; Атанасов и Бонев, 1979).

В гранитоидите на двете кисели наставки по гъста мрежа от пукнатини е развито шокверково медно-молибденово орудяване. То е проявено най-интензивно в централната част на находището. Рудната минерализация е разпределена сравнително равномерно в гранитоидите. Молибденитът е отложен предимно в маломощни калиевофелдшпатно-кварцови прожилки. В гранитовата наставка поради наличието на благоприятни линейни структури понякога се срещат и издържани, мощни кварц-молибденитови жили. Структурните особености определят своеобразието и на контактния ореол на плутона. В северния фланг на находището контактнометасоматичните скали (скарни, скарноиди и хорифелзи) образуват мощна, издържана зона на границата на гранитоидите с вместиците ги мрамори и теригенно-карбонатни скали. В централната част на находището гранитпорфировата наставка разкъсва ореола на отделни ксенолити, ориентирани с дългата си ос по посока на внедряването ѝ (фиг. 1). Контактните промени, свързани с нея, са по-ограничени.



Фиг. 2. Контурни диаграми на пукнатините в района на развитие на кварц-молибденитовите жили: а — обща напуканост; б — пукнатини с молибденово орудяване

За пукнатините, развити в скалите на гранитовата наставка, могат да се направят някои изводи от показаните на фиг. 2 контурни диаграми. Най-издържани и най-интензивно развити са пукнатините с ориентация около 220° (фиг. 2а), за които се предполага, че са оперяващи на субпаралелния

разлом, контролирал внедряването на гранитпорфирите. По тази система е отложено основното количество на молибденовото орудяване (фиг. 26) и са развити почти всички кварц-молибденитови жили. Среднокиселите и киселите дайки имат близка до тая посока.

Системата пукнатини с ориентация около 40° вероятно е резултат на тектонски движения по разлома, контролирал внедряването на скалите от гранитовата наставка. Тези пукнатини са слабо минерализирани.

Друга сравнително добре представена система е тази с ориентация около 90° (фиг. 2а). Напукването в случая е свързано с внедряването на гранитпорфирите, но поради липсата на отворени пукнатини не е отложено значително сулфидно орудяване. С близка до тази ориентация са някои базични до среднокисели дайки, внедрени в гранитпорфирите.

Петроложка характеристика на гранитоидите и метасоматичните промени в тях

Скалите от киселите наставки на Малкотърновския плутон, вместиращи медно-молибденовото щокверково и жилното молибденово орудяване, варират с постепенни преходи от гранодиорити и гранодиоритпорфири до гранити и гранитпорфири с преобладание на по-киселите разновидности (табл. 1). Гранитоидите са повсеместно засегнати от високотемпературна кварц-калиевофелдшпатна метасоматоза. Незасегнати скали практически не се наблюдават, но измененията на химическия и петрографския състав според досегашните впечатления не са големи. Петроложката принадлежност на отделните гранитоиди бе определена условно по класификационната схема на Международната петрографска комисия (1981).

Таблица 1

Химични анализи на скални образци от находище Бърдце, хоризант 260

Окиси	V-7	V-9	IV-1	V-1
SiO ₂	67,63	68,16	67,40	68,57
TiO ₂	0,44	0,39	0,32	0,32
Al ₂ O ₃	14,81	14,45	15,53	13,31
Fe ₂ O ₃	1,36	1,23	1,84	0,87
FeO	1,45	1,55	0,94	1,20
MnO	0,03	неопр.	0,02	неопр.
MgO	1,97	2,07	0,83	2,30
CaO	2,68	2,98	2,94	2,35
Na ₂ O	3,72	3,32	3,60	2,18
K ₂ O	4,20	4,03	3,79	5,01
P ₂ O ₅	неопр.	неопр.	0,13	неопр.
H ₂ O ⁺	1,72	2,07	1,73	2,76
H ₂ O ⁻	0,37	0,39	0,41	0,45
CO ₂	—	неопр.	0,43	неопр.
S	0,18	неопр.	0,47	неопр.
F	0,06	неопр.	0,02	неопр.
Cu	0,15	неопр.	0,07	неопр.
Сума	100,77	100,64	100,47	99,32

V-7 — гранодиорит, гал. 264; V-9 — гранит, гал. 264; IV-1 — гранодиоритпорфир, р. 290; V-1 — гранитпорфир, гал. 262; V-7 и IV-1 — класически химичен анализ, аналитик М. Велдинова (ГИ на БАН); V-9 и V-1 — рентгеноспектрален анализ, аналитик Г. Панайотов (ГИ на БАН).

Гранити и гранодиорити

Гранитите и гранодиоритите съставят основната част от гранитовата наставка на Малкотърновския плутон. Те са сиви, с масивна текстура и много пукнатини. Структурата им е предимно гранитова, по-рядко монцонитоидна. Минералният състав е калиев фелдшпат — 30%, плагиоклаз — 31%, биотит и малко мусковит — 15%, кварц — 20%, и амфибол — 2%. Акцесорни минерали са апатит, магнетит, циркон, титанит и рутил. От наложените сулфидни минерали в гранитите се наблюдават пирит, халкопирит, молибденит, тенантит, тетраедрит и др.

Плагиоклазите са представени от прости и полисинтетни срастъци. Рядко се наблюдават зонални кристали. Размерите им са 0,5—1,5 mm. Често са слабо серицитизирани. По състав отговарят на олигоклаз-андезин (около № 34).

Първичният калиев фелдшпат образува ксеноморфни зърна с размери до 1 mm. Срастъци почти не се наблюдават. В състава му е характерно присъствието на ВаО до около 1,4%. В гранитоидите има значително количество по-късен калиев фелдшпат, запълващ пукнатини, пресичащ и заместващ плагиоклазите и първичния калиев фелдшпат. Характерно за него е малкото количество примеси и преди всичко подчертано ниското съдържание на ВаО. Химичният състав на късния калиев фелдшпат е близък до тоя на адулара (анализи на първичен и късен калиев фелдшпат са представени в табл. 2). В кварцовите прожилки, пресичащи всички минерали на скалата, често се срещат дребни кристалчета от късен адулар с правилни форми (табл. 1, 1).

Кварцът е представен като неправилни зърна с характерно мозаично потъмнение. Често съдържа рутилови иглички. В разглежданите скали има и по-късен кварц, отложен в успоредни прожилки, сечащи останалите минерали. Той е винаги дребнозърнест и е отложен заедно с карбонати, сулфиди и адулар.

Биотитът е едролюспест, на места до 2 mm, частично хлоритизиран. Химичен анализ на биотит от гранит е даден в табл. 2. Понякога е опацифициран и съдържа включения от магнетит и апатит.

Като се имат предвид наложената площна кварц-калиевофелдшпатна метасоматоза и сегашният състав на скалите — гранити с преходи към гранодиорити, можем да предполагаме, че първоначалният им състав е бил предимно гранодиоритов.

Гранитпорфири и гранодиоритпорфири

От тези скали е съставена основната част на петата интрузивна наставка на Малкотърновския плутон. Гранитпорфирите и гранодиоритпорфирите са масивни със сив до светлосив цвят. Под микроскоп показват ясна порфирна структура. Порфирни минерали са калиевият фелдшпат, плагиоклазът, кварцът и биотитът. Основната маса от дребнозърнест фелдшпат и кварц с размери 0,01—0,1 mm, заема до 50% от обема на скалата. В зоната, където порфирните гранитоиди постепенно или с интрузивни брекчи преходят към гранитите, се срещат порфирни сериални структури. Минералният състав на гранитпорфирите е плагиоклаз — 35%, калиев фелдшпат — 30%, кварц — 22%, биотит и амфибол — до 7%, малко мусковит и акцесорни минерали — магнетит, апатит, циркон, рутил, титанит, ортит и др. Шоковото орудяване в тази наставка е с малко по-високи съдържания на мед и молибден от това в гранитовата наставка. Поради липса на издържани пукнатини в гранитпорфирите не са се образували жили.

Таблица 2

Микросондови анализи на главните скалообразуващи минерали на скалите от гранитовата и гранитпорфировата наставка на Малкотърновския плутон

Наставка	Гранитова				Гранитпорфирова			
	Образец	I-10	X-1	X-1	V-9	V-2	V-2	V-2
Минерал	плагноклаз	К фелдшпат*	К фелдшпат**	биотит	плагноклаз	К фелдшпат*	К фелдшпат**	биотит
Окиси								
SiO ₂	60,86	62,93	64,08	37,20	58,31	65,02	63,81	37,92
TiO ₂	—	0,03	—	3,70	—	—	—	4,09
Al ₂ O ₃	24,91	18,16	18,14	14,22	25,05	18,92	18,14	14,57
FeO	0,08	0,07	0,08	18,31	0,17	0,23	0,08	14,36
MnO	—	0,01	—	0,37	—	—	—	0,17
MgO	0,01	—	—	13,26	—	—	—	15,38
CaO	6,74	0,01	0,02	—	7,65	0,07	0,04	0,05
Na ₂ O	7,39	1,65	1,00	0,12	7,02	1,33	0,58	0,21
K ₂ O	0,32	14,35	15,54	9,82	0,37	14,83	16,15	9,75
BaO	0,05	1,39	—	—	0,08	1,38	0,11	—
Сума	100,36	99,60	98,86	97,00	98,65	101,78	98,91	96,50
Минерали								
Албит	65,3	14,5	8,0	—	61,1	11,6	5,3	—
Анортит	32,9	—	—	—	36,8	0,4	—	—
Ортоклаз	1,8	83,0	92,0	—	2,1	85,5	94,7	—
Целзиан	—	2,5	—	—	—	2,5	—	—
Флогопит	—	—	—	61,2	—	—	—	65,8
Анит	—	—	—	38,8	—	—	—	34,2

* Първичен калиев фелдшпат; ** вторичен калиев фелдшпат

I-10 — гранит, р. 11; X-1, V-9 — гранодиорити, гал. 263; V-2, V-1 — гранитпорфири, гал. 263. Аналитици О. Димитров и Хр. Нейков, ГИ на БАН.

Плагноклазите в гранитпорфирите са в основната маса и като зонални кристали или полисинтетни срастъци с размери до 2—3 mm. Срастъците са албитови и по-рядко аклинови. Серицитизация се наблюдава рядко, най-вече по срастъчните повърхнини. По химичен състав плагноклазите са олигоклаз-андезин (№ 34, 35). Химичен анализ на плагноклаз от гранитпорфир е даден в табл. 2. Изследван беше и един профил от центъра към периферията на зонален плагноклазов кристал. От анализите, представени в табл. 3, се вижда, че е налице обратна зоналност. Това може да се обясни с хипотезата, че на фона на сравнително бързото охлаждане на магмата е имало явления на преохлаждане и частични подгривания.

Калиевият фелдшпат е представен от едропорфирни кристали с правилни очертания и размери до 3 mm. Често се срещат карлсбадски срастъци. В основната маса той е дребнозърнест (до 0,1 mm) с неправилни форми. Химичният състав на първичния калиев фелдшпат от гранитпорфирите се характеризира с високо съдържание на BaO (табл. 2). Порфирните кристали понякога имат много тънка периферна зона с ниско съдържание на BaO. Като метасоматичен по-късният калиев фелдшпат замества основната маса, пресича порфирните кристали плагноклаз, кварца, а също и първичния калиев фелдшпат. По химизъм той е близък до адулара (табл. 2). В кварцовите прожилки се срещат и кристалчета от бистър късен адулар с правилни форми и с размери до 7—10 μm, който е нов минерал за находището.

Кварцът в основната маса е дребнозърнест с неправилни очертания. Едропорфирните кристали са с идиоморфни или заоблени очертания.

Рядко се наблюдават кварцови зърна с напукване и мозаично потъмнение. В гранитпорфирите присъствува и късен, хидротермален кварц в прожилки, пресичащи основната маса и порфирните кристали. С него са отложени сулфиди, карбонати и адулар.

Б и о т и т ъ т е средно- до едролюспест, с размери на индивидите до 0,5—1,5 mm. В основната маса размерите му са с един порядък по-малки. Понякога е слабо опацифициран и включва зърна от апатит и магнетит. Съставът му, определен с електронен микроанализатор, е представен в табл. 2.

При съпоставяне на количествата на албита в съществуващите първични калиеви фелдшпати и плагиоклази в скалите на отделните наставки на диаграмата на Stogmer (Whitney, Stogmer, 1977) за температурите на застиване на скалите се получават следните стойности: гранити — 600—620°C; гранитпорфири — 540—550°C. Вероятно е тия температури да са малко по-ниски от действителните поради влиянието на наложената на киселите наставки площна кварц-калиевофелдшпатна метасоматоза, при която първоначалните състави на фелдшпатите са може би в известна степен променени.

Кварц-молибденитови жили

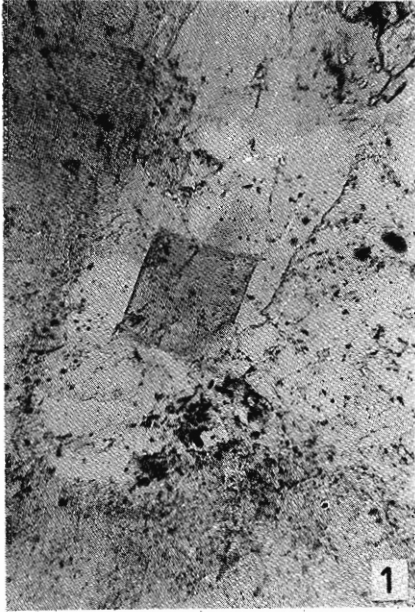
Кварц-молибденитовите рудни жили са отложени по система издържани по дължина пукнатини със североизточна посока, затъващи на север-северо-запад под наклон 50—70° (фиг. 26). Те са с дебелина от 0,10—0,20 до 1,5 m. Около издържаните мощни жили се наблюдават оперяващи, които образуват окварцени зони с ширина до няколко метра. До момента жилите са проследени на 250 m в дълбочина и 150 m по дължина. Изградени са от плътен кварц, включващ на места (късове) от вместиращите гранити. Орудяването в тях е на гнезда, по прожилки, като впръследи или финодисперсни импрегнации от молибденит, сулфиди и сулфосоли. Много рядко се срещат участъци от жилите, изградени от калцит, железни карбонати, кварц, пирит, молибденит, галенит, сфалерит, тетраедрит, тенантит, зеолити и халцедон (карнеол). В близост до контактния ореол на плутона кварц-молибденитовите жили се разсейват, образувайки окварцени зони в приконтактовите скали и скарните. Основната посока на прожилките в апоскарновото орудяване е същата като тая на кварц-молибденитовите жили и шокверковото орудяване в гранитите и съвпада с посоката на най-интензивното напукване в наставката (фиг. 2а, б).

Около жилите във вместиращите гранити и гранодиорити е развита двустранно зона на хидротермална промяна. В повечето случаи във висящото

ТАБЛИЦА I

1. Ромбично сечение на адулар в гранит от находище Бърдце, $\times 130$.
2. Молибденит, съставен от политипните модификации 2H и 3R и показващ разлики в химичния състав на отделните слоеве. Обратно отразени електрони, $\times 550$.
3. Тенантит от кварц-молибденитова жила, показващ зоналност с разлики в съдържанията на Fe, As и Sb. Обратно отразени електрони, $\times 800$.
4. Секториално зонален тетраедрит от кварц-молибденитова жила с разлики в съдържанията на Fe, As и Sb за отделните зони. Обратно отразени електрони, $\times 150$.

ТАБЛИЦА I



И. Йорданов, И. И. Бонев, В. Иванова-Панайотова — Сп. на Българското геологическо д-во, 46, 1, 1985

J. Jordanov, I. I. Bonev, V. Ivanova-Panaiotova — Review of the Bulg. Geol. Society, 46, 1, 1985

Таблица 3

Микросондови анализи на зонален плагиоклаз по профил от центъра към периферията на кристала, образец V-2, галерия 262

Окиси	1	2	3	4
SiO ₂	58,99	55,97	60,68	60,54
TiO ₂	—	0,03	—	0,01
Al ₂ O ₃	24,92	27,14	23,97	24,55
FeO	0,29	0,22	0,21	0,20
MnO	0,01	0,01	—	—
MgO	—	0,02	—	—
CaO	7,22	9,80	5,84	6,20
Na ₂ O	7,23	6,07	8,19	8,09
K ₂ O	0,37	0,23	0,35	0,29
BaO	0,06	—	0,03	0,05
Сума	99,09	99,49	99,27	99,93

1 — централна част; 2 — междинна зона с ширина 250 μ m; 3 — междинна зона с ширина 320 μ m; 4 — външна зона 300 μ m. Аналитик Хр. Нейков, ГИ на БАН.

крило мощността на зоната е по-голяма. За това значение има наклонът на жилата и на оперяващите пукнатини.

За проследяване на характера на измененията са използвани шест профила, обхващащи пълната метасоматична колонка, като някои от тях са изследвани химически (табл. 4 и 5). За неизменени скали се приемат условно гранитите и гранодиоритите, съдържащи бедно шокверково медно-молибденово орудяване и незначително засегнати от кварц-калиевофелдшпатна метасоматоза.

Хидротермално изменените зони се отделят от гранитоидите с рязка граница, но все пак около нея има известни промени — по-големи количества мусковит, апатит, титанит, рутил и калцит. Около изменените зони много по-често се срещат шеелитови зърна, а съдържанията на мед и молибден са леко повишени. Подчертано жилният характер на измененията подсказва преобладаващо инфилтрационния характер на метасоматичния процес, но влияние са имали и дифузионните явления в граничните части.

Мощността на променените зони е съизмерима с мощността на жилите, но понякога е 3—4 пъти по-голяма. Окварцяването е неравномерно, на места твърде интензивно. Фемичните минерали са напълно променени и заместени с хлорит, мусковит и рудни минерали. Фелдшпатите са почти напълно разложени, а на тяхно място е развит дребнозърнест мусковит, серицит и порядко епидот. Калиевият фелдшпат е по-слабо засегнат. Характерно е присъствието на значително количество карбонати, предимно желязосъдържащи. В цялата хидротермално изменена зона са повишени количествата на апатита, шеелита и рутила. В някои случаи има интензивно молибденово орудяване в кварцови прожилки, но обикновено съдържанията са по-ниски, отколкото в жилата до 2—3 пъти.

Данните от химичните анализи на образците от профили II и III са преизчислени по атомно-обемния метод (К а з ы ц и н, Р у д н и к, 1968). Това дава възможност за едно сравнително ясно проследяване на измененията в съдържанията на отделните компоненти по зони (фиг. 3 а, б, табл. 4 и 5). Най-изразено е максималното увеличение на количеството на Si в кварцовата жила. Нарастването е скокообразно. Съдържанията на останалите елементи намаляват до почти пълно отсъствие в жилата. Поведението им в хидротемално променените зони около жилите е различно. Количеството

Таблица 4

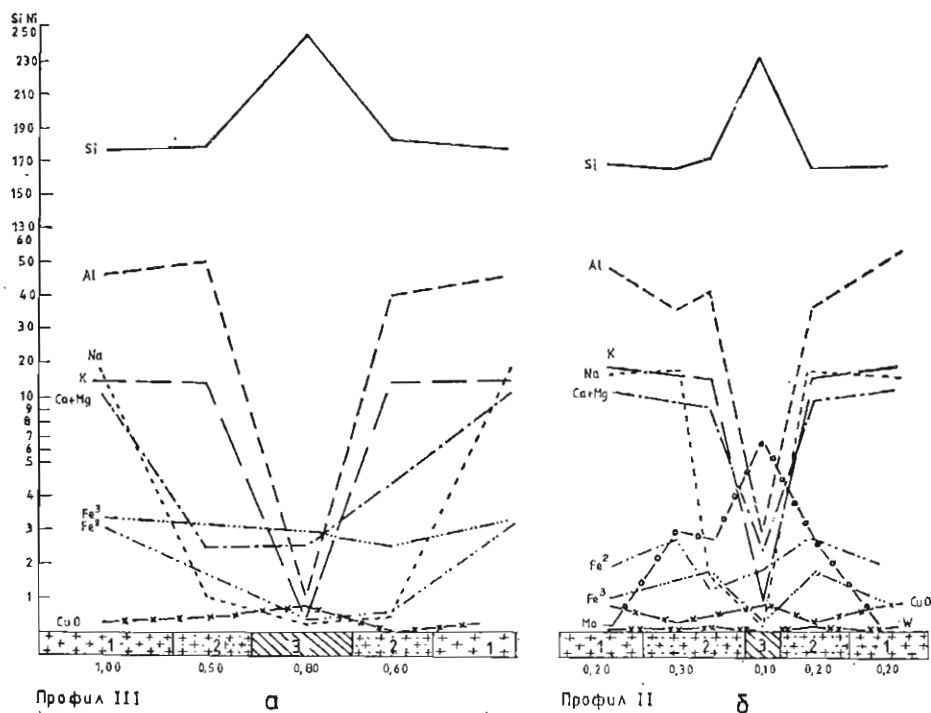
Химични анализи на скалите от профила III, преизчислени по атомно-обемния метод*

Окис	III-1			III-2			III-4			III-5		
	анализ	катиони	аниони	анализ	катиони	аниони	анализ	катиони	аниони	анализ	катиони	аниони
SiO ₂	68,38	178,37	356,75	69,49	179,88	359,75	92,76	246,83	493,67	73,80	181,65	363,29
TiO ₂	0,01	0,02	0,04	0,34	0,66	1,32	0,16	0,32	0,64	0,30	0,56	1,11
Al ₂ O ₃	15,02	46,17	69,25	16,54	50,45	75,67	0,35	1,10	1,65	15,02	43,56	65,34
Fe ₂ O ₃	1,70	3,34	5,00	1,64	3,19	4,79	1,46	2,92	4,38	1,40	2,59	3,89
FeO	1,44	3,14	3,14	0,71	1,54	1,54	0,30	0,67	0,67	0,20	0,41	0,41
MnO	0,09	0,09	0,09	0,01	0,02	0,02	неизсл.	—	—	0,04	0,08	0,08
MgO	1,23	4,78	4,78	0,26	1,00	1,00	0,09	0,36	0,36	0,69	2,53	2,53
CaO	2,23	6,23	6,23	0,55	1,53	1,53	0,42	1,20	1,20	0,52	1,37	1,37
Na ₂ O	3,19	16,13	8,07	0,22	1,10	0,55	0,05	0,26	0,13	0,16	0,76	0,38
K ₂ O	4,42	14,71	7,35	4,24	14,00	7,00	0,10	0,34	0,17	4,74	14,88	7,44
P ₂ O ₅	0,14	0,31	0,77	0,15	0,33	0,85	0,01	0,02	0,06	0,10	0,21	0,52
H ₂ O ⁺	1,40	24,36	12,18	4,62	79,75	39,88	2,41	42,77	21,38	2,36	38,74	19,37
H ₂ O ⁻	0,40	—	—	0,67	—	—	0,01	—	—	0,10	—	—
CO ₂	0,59	2,10	4,20	0,01	0,04	0,07	0,08	0,29	0,58	0,18	0,60	1,21
S	0,24	—	1,17	0,60	—	2,91	1,00	—	4,99	1,20	—	5,33
F	0,17	—	1,40	0,09	—	0,74	0,02	—	0,17	0,13	—	1,01
CuO	0,11	0,22	0,22	0,19	0,37	0,37	0,33	0,66	0,66	0,02	0,04	0,04
MoO ₃	0,005	0,01	0,02	0,005	—	—	0,68	0,76	2,27	0,07	0,07	0,22
W	0,005	—	—	0,005	—	—	0,01	0,01	—	0,01	0,01	—
Сума	100,72	299,98	480,66	100,34	333,86	497,99	100,24	298,51	532,98	100,74	288,06	473,76
Об. тегло	2,62			2,59			2,66			2,48		

III-1 — относително неизменен гранодорит; III-2 — изменен гранодорит; III-3 — образец от рудната жила; III-4 — изменен гранодорит. Аналитик М. Велинов, ГИ на БАН.

*При преизчислението анализите са приведени към 100%.

на Al варира в зависимост от съдържанието на слюда и степента на окварцяване. Съдържанието на Na рязко се понижава поради заместването на плагиоклазите от кварц-серицитови агрегати. Са и Mg понижават количествата си в зависимост от степента на заместване на мафитите. В профил II



Фиг. 3. Диаграми за количествата на главните компоненти по зони на кварц-молибденовите жили. Цифровите данни са представени в табл. 4 и 5; а — профил III; б — профил II 1 — относително неизменен гранодиорит; 2 — околожилно изменен гранодиорит с орудяване; 3 — кварц-молибденитова жила

това е по-слабо изразено, докато в профил III е подчертано, но несиметрично от двете страни на жилата. К запазва нивото си поради слабата промяна на калиевия фелдшпат, свързането му в слюди и появата на адуларов тип късен фелдшпат. За променените зони е характерно повишеното съдържание на Ti и P (табл. 4 и 5).

За профил II са отразени съдържанията на Mo, Cu и W. Съдържанията на Cu в жилите не се различават съществено от тия в щокверковото медно-молибденово орудяване и гранитоидите, а в изменените околожилни скали спадат. Там от една страна се покачва количеството на W.

Измененията около жилите по характер са околопукнатинни, резултат на проявените постмагматични пневматолитно-хидротермални процеси в киселите наставки на Малкотърновския плутон. По химизъм и минерален състав те са близки до кварц-мусковитовия фациес от стадия на киселинното излужване.

Таблица 5

Химични анализи на скалите от профил II, преизчислени по атомно-обемния метод*

Окис	II-1			II-2			II-3	
	анализ	катйони	анйони	анализ	катйони	анйони	анализ	катйони
SiO ₂	65,12	168,56	337,11	65,04	166,39	332,78	70,20	172,50
TiO ₂	0,48	0,93	1,87	0,49	0,94	1,89	0,32	0,59
Al ₂ O ₃	16,05	48,95	73,43	15,26	46,01	69,02	14,20	41,12
Fe ₂ O ₃	0,51	0,99	1,49	0,82	1,58	2,37	0,98	1,81
FeO	0,91	1,97	1,97	1,28	2,74	2,74	0,62	1,27
MnO	—	—	—	0,04	0,09	0,09	0,08	0,17
MgO	1,04	4,01	4,01	1,14	4,35	4,35	0,78	2,86
CaO	2,75	7,62	7,62	1,92	5,26	5,26	2,10	5,53
Na ₂ O	3,40	17,06	8,53	3,20	15,87	7,94	0,36	1,71
K ₂ O	5,70	18,82	9,41	4,84	15,80	7,90	4,80	15,04
P ₂ O ₅	0,15	0,33	0,82	0,05	0,11	0,27	0,05	0,10
H ₂ O ⁺	1,62	27,96	13,98	1,84	31,40	15,70	1,68	27,53
H ₂ O ⁻	0,30	—	—	0,60	—	—	0,20	—
CO ₂	0,97	3,43	6,85	0,62	2,17	4,33	0,60	2,01
S	0,37	—	1,79	0,34	—	1,63	0,74	—
F	0,07	—	0,57	—	—	—	—	—
CuO	0,40	0,78	0,78	0,16	0,31	0,31	0,42	0,78
MoO ₃	0,10	0,11	0,32	2,23	2,38	7,15	2,17	2,23
W	0,015	0,01	—	0,05	0,04	—	0,09	0,07
Сума	99,955	301,53	470,55	99,92	295,44	463,73	100,39	275,32
Об. тегло	2,58			2,55			2,46	

II-1 — относително неизменен гранодюрит; II-2 — изменен гранодюрит с орудяване; II-3 — силно Аналитик М. В е л и н о в а, Ги на БАН.

*При преизчислението анализите са приведени към 100%.

Минералогия на кварц-молибденитовите рудни жили

Молибденовата рудна минерализация е отложена в кварцовите жили, около границите им и в по-малка степен в променените гранитоиди около тях. С отдалечаване от жилата орудяването преминава в типично шок-верково.

Главен руден минерал в жилното орудяване е молибденитът. Други, близки по количество, са тенантитът и тетрадритът. Като второстепенни се отделят пирит, халкопирит, галенит и сфалерит. Редки за орудяването са борнит, халкоцит, айкинит, витихенит, дигенит, жозеит В, тетрадимит и шеелит. Като вторични присъствуват повелит, молибдит и феромолибдит.

М о л и б д е н и т. В кварц-молибденитовите жили се различават две генерации молибденит. Първата е представена от финодисперсни люспички, импрегниращи цели ивици по дължина на жилите. Втората генерация, с която е свързано основното количество молибден в находището, е отложена като впръследи, гнезда и прожилки в жилата и околожилното пространство малко преди основната сулфидна минерализация.

В отразена светлина молибденитът е бял, с чиста повърхност, без включения. Представен е от огънати слоести агрегати, розетки, впръследи и финодисперсни люспици. Съставът му, определен с електронен микроанализатор, е Мо=61,1 % и S=41,9 % (поради близостта на спектралните линии на Мо и S стойностите са завишени и анализът има стойност на полуколи-

анioni	II-4			II-5		
	анализ	катиони	аниони	анализ	катиони	аниони
345,01	89,04	230,40	460,79	68,25	177,70	355,41
1,18	0,16	0,31	0,62	0,35	0,69	1,37
61,67	0,94	2,87	4,20	13,80	43,34	65,01
2,72	0,04	0,08	0,12	0,78	1,53	2,29
1,27	0,86	1,86	1,86	0,80	1,74	1,74
0,17	неизсл.	—	—	—	—	—
2,86	0,13	0,50	0,50	1,00	3,88	3,88
5,53	0,50	1,39	1,39	1,85	5,16	5,16
0,86	0,05	0,25	0,13	0,32	1,62	1,62
7,52	0,25	0,83	0,41	5,54	18,40	9,20
0,26	следи	—	—	—	—	—
13,77	0,50	8,63	4,31	2,65	46,01	23,01
—	0,02	—	—	0,39	—	—
4,02	0,39	1,38	2,75	2,19	7,78	15,57
3,41	2,66	—	12,90	0,22	—	1,07
—	0,04	—	0,33	—	—	—
0,78	0,16	0,31	0,31	0,32	0,63	0,63
6,68	5,40	5,83	17,49	0,51	0,55	1,66
—	0,01	0,01	—	0,01	0,01	—
457,71	101,15	254,65	508,11	98,98	309,04	487,62
—	2,61	—	—	2,57	—	—

изменен гранодиорит с орудяване; II-4 — образец от кварц-молибденитовата жила; II-5 — изменен гранодиорит.

Таблица 6

Междуплоскостни разстояния на молибденит от находище Бърдце

d, Å	l	d, Å	l
6,71	3	1,83	5
6,03R	9	1,76R	3
4,53	1	1,69	1
3,74	1	1,64	1
3,05	2	1,59	7
2,95	1	1,53	6
2,75	8	1,48	1
2,68	2	1,44	1
2,60	5	1,40	1
2,34R	2	1,387	1
2,29	10	1,370	2
2,20R	2	1,344	1
2,03	4	1,300	3

R — линии, на политипната модификация 3R. Условия на снимане: камера Гандолфи — 57,3 mm. SiKa-лъчение. Аналитик Н. Зотов, ГИ на БАН.

чествен). Според Г о д о в и к о в (1975) за жилните находища на молибден са характерни слоестите сраствания на 2H и 3R политипите на молибденита. В рентгенограмата на молибденит от жилното орудяване бяха отделени и линии на политипната модификация 3R (табл. 6). Ч у х р о в и

др. (1968) изказват мнението, че наличието на политипа 3R се дължи на сравнително ниската активност на сярата в началото на сулфидния процес и говори за условия на бавно понижение на температурата. Това мнение се оспорва по-късно от други автори (Newberry, 1979), които считат, че горните фактори не са от голямо значение, а основната причина са присъстващите елементи примеси. В изследваните образци при силен контраст в обратно отразени електрони се наблюдават добре изразени разлики в химичния състав на отделните слоеве на молибденита (табл. 1, 2). Молибденитът от жилите се характеризира с повишени съдържания на Re (по данни от спектрални анализи до 880 g/t). Според експерименталните изследвания на Zeliktap (Newberry, 1979) образуването и стабилността на политипа 3R се намира в пряка връзка с присъствието на примеси от Re, Ti, W, Bi, Sn, Fe и др.

Тенантит. Изгражда отделни гнезда в кварцовите жили в асоциация с тетраедрит, галенит и сфалерит. Понякога в кухини се срещат кристали с едрина до 4—5 mm. В обратно отразени електрони тенантитът от жилите показва зоналност (табл. 1, 3). Чрез линейно сканиране по елементи напречно на зоните беше установено, че тя се дължи на вариации в съдържанията на Fe, Sb и As. Химичен състав на тенантит от кварц-молибденитовите жили е показан в табл. 7. Спектрално се откриват повишени съдържания на Bi, Ag и Cd (лазерен спектрограф LMA-1), но те се оказаха под чувствителността на микросондовия метод.

Таблица 7

Микросондови анализи на някои от рудните минерали от кварц-молибденитовите жили

Елементи	Тенантит	Тетраедрит	Айкинит	Витихенит
Sb	1,65	20,89	—	—
Cu	45,27	41,76	12,02	44,39
As	20,02	6,12	—	—
Fe	5,97	6,30	—	—
Bi	—	—	37,17	37,49
Pb	—	—	36,64	—
S	28,26	26,29	16,38	19,54
Сума	101,17	101,36	102,21	101,42

Аналитици: О. Димитров и Хр. Нейков, ГИ на БАН.

Тетраедрит. Заедно с тенантита той е носител на основната част от медта в жилите. В табл. 7 е представен химичен анализ на тетраедрит от жилите. В обратно отразени електрони се установи, че тетраедритовите зърна имат секториален строеж (табл. 1, 4) с различен състав на секторите. Чрез линейно сканиране по елементи бяха определени разлики в съдържанията на As, Fe и Sb за отделните сектори. Подобно на тенантита в тетраедрита се откриват примеси от Bi, Ag и Cd.

Пирит. В жилите се среща като гнезда, отделни кристали и впръследи в кварца заедно с останалите сулфида и сулфосоли. Най-често е с кубични и октаедрични форми. Размерите му са до 5—6 mm. В променените околожилни пространства е рядък. Понякога включва в себе си зърна и агрегати от халкопирит и медни сулфосоли.

Халкопирит. В кварц-молибденитовите жили халкопиритът е второстепенен минерал, докато за находището и рудното поле е основен но-

сител на мед. Агрегатите и зърната му често съдържат включения от тенантит, тетраедрит, айкинит, борнит, жозеит В и др. Някои от тях са с обвивки от халкоцит.

Галенит. Среща се като зърна с неправилна форма и гнезда сред основната маса от кварц или като дребни включения в сулфосоли.

Сфалерит. В жилите той се среща сравнително често. В асоциация е с галенит, халкопирит и сулфосоли. Част от халкопирита е отсмесен в него. Съдържанието на желязо в сфалерита от жилите е високо.

Борнит. Присъства като дребни включения в тенантита заедно с халкопирит, витихенит и айкинит. В обратно отразени електрони показва вариации в съдържанията на компонентите си, без да се наблюдават отчетливи фазови граници.

Халкоцит. В жилното орудяване има както хипогенен, така и вторичен халкоцит. Той запълва пространството между пиритовите зърна или се среща като обвивки върху халкопирита. Определен е оптически.

Айкинит. Този минерал се наблюдава като дребни включения с размери до 0,1 mm в тенантита. Той почти винаги е заедно с халкопирит, борнит и витихенит. В табл. 7 е показан микросондов анализ на айкинит от жилното орудяване.

Витихенит. В жилите витихенит се среща рядко като отделни зърна или заедно с айкинит и борнит, включени в тетраедрит и тенантит. Определен е чрез микросондов анализ (табл. 7).

Дигенит. Най-често този минерал може да се открие като облепи и дребни кристалчета върху тенантитови и тетраедритови агрегати в кухини сред кварцовата маса. Доказан е рентгенографски.

Жозеит В. Наблюдаван е под формата на отделни зърна, включени в тетраедрит и халкопирит. В отразена светлина е бледокремаво-жълт, със силна анизотропия, ясно двуотражение и съвършена цепителност. Среща се много рядко.

Тетрадимит. Изключително рядък за жилното орудяване минерал. В отразена светлина има жълт оттенък и висока отражателна способност. Асоциира с тетраедрит, жозеит В и други сулфосоли. Тетрадимитът и жозеит В от жилите са определени оптически чрез сравнение с доказани рентгенографски и с микросондови анализи образци от орудяването в скарните на същото находище.

Шеелит. В кварцовите жили шеелитът се среща рядко като дребни заоблени зърна с висок релеф. Разсветлява в сиви до сивожълти бои. Почесто го намираме в хидротермално променените зони около жилите, особено в участващи с по-интензивно окварцяване. Зърната му достигат до 0,5—1,0 mm. Някои от тях са зонални със съдържания на молибден до няколко процента във вътрешните зони.

Молибдит и феромолибдит. Това са хипергенни минерали, получени при окислението на молибденита от жилите и около тях. Образуват облепи и импрегнации с жълт цвят.

При предишни изследвания на орудяванията около Малкотърновския плутон (Бонев, 1982) бе направено заключението, че хидротермалният процес, отложил сулфидната минерализация в находищата от рудното поле, се характеризира с една относителна непрекъснатост във времето. Върху отлагането на продуктите на този процес влияние са имали предимно литоложките фактори. За непрекъснатия му и единен характер след формирането на интрузива свидетелствува пространственото разпределение на редица характерни минерални парагенези. Засебяването на останалите минерални парагенези в отделните находища и типове орудявания отразява тяхната про-

странствена привързаност към скалите от определени интрузивни наставки.

От установените по-рано минерални парагенези, разпространени в рудното поле (Б о н е в, 1982), в жилното медно-молибденово орудяване са определени следните: кварц-шеелит-молибденитова с кварц, калиев фелдшпат, шеелит и молибденит; пиритова, вероятно с наличие и на арсенопирит, който при настоящото изследване не беше наблюдаван; медно-бисмутова, аналогична на бисмутинит-тетрадимитовата парагенеза на Б о н е в (1982). Освен наблюдаваните жозеит В и тетрадимит е възможно присъствието и на други бисмутови минерали; тенантитова с халкопирит, тетраедрит, тенантит, сфалерит, галенит и айкинит. В апоскарновото орудяване тази парагенеза включва самородно злато и сребро. Въпреки че не бяха наблюдавани при микроскопските изследвания, те бяха установени в концентратите при промишлени опити за обработка на рудата; борнит-витихенитова, представена от халкоцит, дигенит, борнит, малко халкопирит, витихенит и айкинит; зеолитова с примеси от пирит, халцедон, адулар.

Малкотърновският плутон е внедрен при хипоабисални условия и се състои от шест обособени интрузивни наставки. С внедряването на всяка наставка се е повишавала температурата и по този начин са се запазили условията за развитие на контактно-метасоматичните процеси. Последните две наставки са застинали по-бързо, за което свидетелствуват порфирните структури и липсата на значителни промени около тях. С образуването им всъщност започват следскарновите метасоматични процеси. Високотемпературната калиевофелдшпатна метасоматоза засяга всички скали, представени в района (третата, четвъртата, петата и шестата наставка). След внедряването на последната наставка застиването на интрузива е протекло бързо и следващите процеси са застъпени фрагментарно. Тук е приложима схемата на Б е у с (1968) за постмагматичните процеси при проява на тектонска напуканост в заключителния етап на консолидация на интрузива:

К	—	—	Si	—	Na	—	К
ранна микркли- низация	напукване на масива		високотемпе- ратурно ок- варяване		късна албитиза- ция		късна мик- роклинизация

Така с намаляването на температурата и повишаването на киселинността се стига до грайзеноподобни процеси с отлагане на кварцови жили и прожилки, а малко по-късно — на молибденит първа генерация и шеелит. С това започва хидротермалното рудоотлагане. По-късно с еволюцията на разтворите при застиването на интрузива и смяната на рН се отлагат молибденит втора генерация, пирит, медни сулфиди и сулфосоли. Процесът е завършил с образуването на адулар, зеолити и халцедон.

Заклучение

Находище Бърдце е образувано в контакта на киселите наставки на Малкотърновския плутон, което определя специфичната му металогения по отношение на останалите находища от Малкотърновското рудно поле. Характерна особеност е наличието освен на медно-пиритно орудяване в скарновия ореол и на шокверков тип медно-молибденово орудяване в интрузивните скали. Преходът между двата типа е постепенен (описано от С т а й к о в, 1982). Жилното кварц-молибденитово орудяване от своя страна е свързано с шокверковото. Решителна роля за образуването на отделните типове орудява

ния са играли средата на рудоотлагане и тектонската обстановка. По-неблагоприятна среда за рудоотлагане в гранитоидите обуславя и по-малкото разнообразие на минерални видове в щокверковото и жилното орудяване и отлагането предимно на високотемпературна молибденова минерализация.

От друга страна, структурните фактори са спомогнали за образуването на кварц-молибденитовите жили в пределите на гранитовата наставка на интрузива. Там, където са липсвали благоприятни линейни структури, се е образувало щокверково медно-молибденово орудяване. Съществена разлика във веществения състав на двата типа няма.

Л и т е р а т у р а

- А т а н а с о в, В. А., И. И. Б о н е в. 1979. Върху бисмутовата минерализация в медните и медно-железните находища от Малкотърновското рудно поле. — *Сп. Бълг. геол. д-во.*, 40, 2, 143—154.
- Б е у с, Л. Л. 1968. Альбититовые месторождения. — В: *Генезис эндогенных рудных месторождений*. М., Недра, 303—375.
- Б о н е в, И. И. 1982. Минерален състав и парагенетични асоциации на рудите от Малкотърновското рудно поле. — Кандидатска дисертация, София.
- В а с и л е в, Л., М. С т а й к о в, В. И в а я о в а - П а н а й о т о в а, Х р. Н е ч е в. 1964. Скарни и руди в ореола на Малкотърновския плутон, Странджа планина. — В: *Сб. Й. Йовчев. С.*, Техника, 274—346.
- Г о д о в и к о в, А. А. 1975. *Минералогия*. М., Недра, 519 с.
- К а з и ц ы н, Ю. В., В. А. Р у д н и к. 1968. *Руководство к расчету баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород*. М., Недра, 364 с.
- М а л я к о в, Й. 1976. Тектонско положение на нискокристалинните метаморфити в Югоизточна Странджа. — *Геотект., тектонофиз. и геодинам.*, 5, 57—78.
- К о с т о в, И. 1973. *Минералогия*. С., Наука и изкуство, 674 с.
- Н а ч е в, И. 1972. Нови данни за юрската система в Странджа. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 33, 3, 325—335.
- Н а ч е в, И. 1976. Седиментните формации в България. — *Палеонт., стратигр. и литол.*, 5, 47—60.
- Н а ч е в, Ив., Й. М а л я к о в. 1979. Развитие на познанията за геологията на Странджа. — *Сп. Бълг. геол. д-во.*, 40, 1, 1—9.
- С е р г е е в а, Л. А., И. К. Н а ч е в, Й. Г. М а л я к о в. 1979. Върху палеозойската възраст на метаморфитите в Странджа. — *Сп. Бълг. геол. д-во.*, 40, 1, 10—17.
- С т а й к о в, М. 1982. Литоложки фактори, обуславящи процесите на скарниране и рудообразуване на находище „Малко Търново“. — Кандидатска дисертация, София.
- Ч у х р о в, Ф. В., Б. Б. З в я г и н, Л. П. Е р м и л о в а, С. В. С о б о л е в а, В. Т. Х и т р о в. 1968. Политипи молибденита и их нахождение в рудах. — *Геол. рудных местор.*, 2, 12—26.
- N e w b e r g g y, R. I. 1979. Polytypism of molybdenite. — *Amer. Mineral.*, 64, 758—775.
- W h i t n e y, J. A., J. C. S t o r m e r. 1977. The distribution of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ between co-existing microcline and plagioclase and its effect on geothermometric calculations. — *Amer. Mineral.*, 62, 7/8, 687—691.

(Постъпила на 22. XI. 1984 г.)