

Съдържание и разпределение на елементите- примеси в оловно-цинковите находища от Устремското рудно поле — Сакар планина

*Тодор Тодоров, Виолета Коларова,
Маргарита Кръстева, Юлия Христова*

Todorov, T., V. Kolarova, M. Krăsteva, J. Hristova. 1991. Contents and distribution of trace elements in the lead-zinc deposits of the Ustrem ore field, Sakar Mt. — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 28, 73-80.

The lead-zinc deposits in the Ustrem ore field show a number of specific geological, mineralogical, geochemical and genetic features. Priabonian-Oligocene and Miocene igneous rocks, so widespread in the Rhodopes, are absent from the area. A separate fluorite-barite assemblage formed before the main quartz-sphalerite-galena paragenesis occurs in the deposits. Other specific features are the lead isotopic composition as well as the major minerals geochemistry in the deposits. For instance, typical trace elements in galena are Bi, Ag, Sb, Cd, Zn, Fe and Cu, and Fe, Cd, Cu, Pb, Mn, Co, Ga, In, Ni, Ag, Bi, Sn, Hg, and Au in sphalerite. First generation pyrite is characterized by increased contents of Cu, As, Pb, Tl, Zn, Sb and Ga, and chalcopyrite by Pb, Ag, Zn, Cd, Ga, Co, Ni and Mn. Other minerals studied are the 2nd and 3rd quartz generations (invariably showing traces of Cu, Pb, Mn, Al, Au and Ag), fluorite and barite (with generally low Sr concentrations in both of them). All these specific features of the lead-zinc deposits in the Ustrem ore field are interpreted as indicating compositional and age differences with respect to the lead-zinc deposits in the Central and Eastern Rhodopes. This permits defining them as a separate fluorite-barite-polymetallic ore formation rather than as part of a larger integral polymetallic ore formation.

Key words: trace elements, Ustrem ore deposits, lead-zinc deposits.

Address: T. Todorov, V. Kolarova, M. Krăsteva — Bulgarian Academy of Sciences, Geological Institute, 1113 Sofia; J. Hristova — Committee of Geology, Geological Enterprise for Laboratory Tests, 1113 Sofia.

Увод

Устремското рудно поле се намира в Сакар планина — Югоизточна България. В него са известни няколко находища и рудопроявления с оловно-цинкова, баритова и флуоритова минерализация. Основни сред тях са находищата Устрем, Барита и Лесово.

Геологопроучвателните и миннодобивните работи в Устремското рудно поле започват и протичат почти едновременно с тези в полиметалните находища на Родопите, но като цяло Устремските находища остават дълго време

извън обсега на научните изследвания. Поради това те са предмет досега само на няколко конкретни публикации. Най-ранни от основните публикации за тях са работите на К и р о в (1963) и на М и л е в, М и л е в а (1963), а напоследък и на К о в а ч е в а (1986), С к е н д е р о в и д р. (1986), Д и м и т р о в, З а м ф и р о в а (1988), А м о в и д р. (1989) и Т о д о р о в, К р ъ с т е в а (1990). Частични данни за находищата се съдържат и в някои статии с обобщителен характер (М и л е в, Б о г д а н о в, 1974; В а с и л е в, 1982; А м о в и д р., 1985; Т о д о р о в, К р ъ с т е в а, 1986).

В настоящата работа се обсъжда въпросът за съдържанието и разпределението на елементите-примеси в минералите и рудите на разглежданите находища. Данните за тях от досегашните изследвания са ограничени. От М и л е в и М и л е в а (1963) например е направен изводът за преобладаването на Pb над Zn (3:1) в рудите, за наличието на повишено (по отношение на оловно-цинковите находища в Родопите) съдържание на CaO, MgO и Al₂O₃ и за понижена (пак спрямо същите находища) концентрация на SiO₂, Ag и Cd в тях. Като характерно от същите автори се посочва и наличието на Ba в рудите. Въпросът за съдържанието и разпределението на елементите-примеси в минералите не се разглежда от цитираните автори. Някои полуколичествени и някои количествени данни в това отношение се съобщават от К и р о в (1963) и напоследък от Ковачева.

Геолого-минераложки особености на рудното поле

Районът на находищата е изграден преди всичко от разнообразни по вид и състав гнайси, гнайсошисти и шисти и амфиболити, отнасяни от К о ж у х а р о в (1986) към Младиновската и Лисовската свита на Прародопската надгрупа. Тези скали се пресичат от докамбрийски гнайс-гранити, гранит-порфири и диорит-порфирити, а така също от каледонските (Л и л о в, 1990) гранитоиди на Сакарския плутон и приеманите за мезозойски аплитонидни и амфибол-биотитови гранити на Гранитовската интрузия (К о ж у х а р о в а, К о ж у х а р с в, 1973). Важен компонент на геоложкия строеж на рудното поле са още неголемите тела от неметаморфозирани ултрабазити сред докамбрийските метаморфити, както и триаските метаморфозирани доломити и варовици и установяващите се само в някои участъци плиоценски глини и пясъци. Характерна особеност за него е също отсъствието на срещаните се широко в Централните и особено в Източните Родопи магмени скали с приабон-олигоценска и миоценска възраст.

Орудяванията в Устремските находища са привързани главно към едноименната дислокация, обединяваща в себе си множество по-малки разломи. Тази дислокация има дебелина до 72 m и е запълнена с тектонски преработени (нашистени и сдробени до милонитизирани) и хидротермално променени (окварцени, серицитизирани, хлоритизирани, карбонатизирани и т. н.) скали, сред които се срещат множество кварцови, кварц-карбонатни, баритови, оловно-цинкови и флуорит-барит-оловно-цинкови жили. По-рядко в нея се наблюдават и рудни тела с лещообразна форма и други по-малки зони с неясни контури на орудяването. Кварцът и карбонатите (различно оцветен калцит, доломит и анкерит) са най-разпространените жилни минерали, следвани от флуорита и барита (К и р о в, 1963). Баритът и флуоритът имат особено широко развитие в горните участъци на находище Барита. От рудните минерали преобладават галенитът и сфалеритът, като заедно с тях в подчинени количества се установяват още пирит, халкопирит, марказит,

пиротин, арсенопирит, тенантит и магнетит (К и р о в, 1963). Допълнително от К о в а ч е в а (1986) са отбелязани спекуларит, тремолит и рипидолит, от Т о д о р о в (1979) — фуксит, а от С к е н д е р о в и др. (1986) — нов генетичен тип биотит.

Структурно-текстурният анализ на рудите в находищата сочи за проявата на единен минерализационен процес в рудното поле. Той се развива стадийно, като се отделят следните четири стадия на минерализация: кварц-пиритов, барит-флуоритов, кварц-сфалерит-галенитов и карбонатен. По време на всеки от отбелязаните стадии се отлагат минералите на отделна минерална парагенеза, носеща името на съответния стадий. Минералообразването е протекло общо при високо- до средно- и нискотемпературни условия (350—55° С) от течено-газови (кварц-пиритов стадий) и газово-течни (останалите три стадия) разтвори (Т о д о р о в, К р ъ с т е в а, 1990).

В находищата от рудното поле е проявен поструден метаморфизъм, при който особено силно засегнати се оказват кварцът, баритът и карбонатите от нерудните и галенитът от рудните минерали (К и р о в, 1963; М и л е в, М и л е в а, 1963). Широко развити са също така процесите на вътрешно-стадийното, а едновременно с това — и на междустадийното заместване на минералите.

Методика на геохимичните изследвания

При настоящото изучаване на рудните минерализации в Устремското рудно поле основно внимание бе обърнато на съдържанието и разпределението на елементите-примеси в техните главни рудни и нерудни минерали. За целта от образци, характеризиращи различни участъци от днес възможните за опробване хоризонти на находищата Устрем (хоризонт 183), Барита (хоризонти 75 и 25) и Лесово (хоризонти — 173 и — 73), с бинокулярна лупа са отбрани мономинерални проби от основните генерации на галенита, сфалерита, пирита, халкопирита, флуорита, барита, калцита и кварца. Проби от посочените минерали са отбрани и от образци, принадлежащи на колекциите на отделните рудници. Всички проби първоначално са анализирани полуколичествено спектрално (спектрограф PGS-2 с дифракционна решетка; аналитик М. Рачева). За някои от елементите след това бяха получени и количествени данни с помощта на атомно-абсорбционен (спектрофотометър Varian-Techtron AA-1200), активационен (аналитик Р. Янкова), количествен спектрален (аналитик Е. Минчева) и химичен анализ. Приложен бе също така и спектрален метод с повишена чувствителност за определяне на живак в част от пробите (аналитик С. Топакбашян).

Резултатите от определенията на елементите-примеси в отделните минерали са представени в табл. 1—7. При изчисляването на статистическите параметри на елементите бяха използвани преди всичко количествените резултати и само в случаите на недостатъчни по обем данни и при нерудните минерали (без Au, Sr и TR) са привлечени и данните от полуколичествения спектрален анализ. Предвид неголемия обем на извадките (броят на пробите е $N < 15-20$) изследване за закона на разпределение на елементите не е направено и средното съдържание навсякъде е изчислявано само като средно аритметично от всички получени стойности.

При интерпретацията на резултатите като база за сравнение се използват средните стойности на елементите в земната кора по В и н о г р а д о в (1962) и минералните и рудно-минералните кларки на част от редките елементи в галенита, сфалерита, пирита и халкопирита по И в а н о в (1966) и само в пирита по П р о х о р о в (1970).

Съдържание и разпределение на елементите-примеси в минералите

Галенит. Основен руден минерал в находищата е галенитът. Той принадлежи на продуктивната кварц-сфалерит-галенитова парагенеза. В него се откриват множество елементи-примеси, от които като характерни се отделят Bi, Ag, Cd, Sb, Zn, Fe и Cu. Тези елементи се отличават не само с най-висока откриваемост в анализираниите галенитови проби (100%), но показват и най-високи съдържания в минерала. Останалите елементи-примеси в галенита (Ga, Tl, Te, Mo, Hg, Au, W, Ti, Mn, Ni, Co, Cr и Sn) се откриват само в част от пробите (най-често), и то с ниски съдържания (до 1—5 g/t и рядко до 10—30 g/t) (табл. 1 и 2).

Галенитите от трите изследвани находища в рудното поле обикновено добре се различават помежду си по съдържанието на повечето от установените в тях елементи-примеси. Получените от нас данни потвърждават направения от К о в а ч е в а (1986) извод за повишеното съдържание на Ag в галенита от находище Устрем и на Bi за находище Лесово, докато Cd се среща с почти еднакви стойности и в трите изучени находища. Може да се отбележи също така и наблюдаващото се при галенита от отделните находища и рудното поле като цяло общо по-равномерно разпределение (по-нисък коефициент на вариация) на съдържанията на характерните за минерала елементи-примеси по отношение на всички останали елементи (табл. 2).

Силно повишена концентрация спрямо кларка в земната кора от характерните за галенита елементи-примеси показват само Bi, Sb, Ag и Cd. Средното съдържание на Cd в галенита има по-висока стойност и от минералния, и от рудно-минералния си кларк, при това без да показва пряка зависимост от съдържанието на Zn в отделните проби (табл. 1). Другите елементи-примеси от тази група, както и преобладаващата част от нехарактерните елементи-примеси в минерала, имат близко или по-ниско от кларка си средно съдържание, а Tl и Te — от минералния и от рудно-минералния си кларк. Тези данни сочат, че със значително по-високо от кларка си в земната кора

Т а б л и ц а 1

Съдържание на елементи-примеси (g/t) в избрани проби от галенит

Находище	Образец, №	Ag	Sb	Bi	Cd	Zn	Cu	Fe	Mn	Co	Ni	Ga	Tl
Барита	4	355	320	204		—	12	98	—	—	—	—	—
Барита	8	201	321	122	44	12	41	146	2	<1	<1	<1	10
Барита	56	243	285	49	275	10	22	6	1	<1	<1	4	2
Устрем	66	463	143	528	98	2500	204	614	18	<1	1	8	<1
Лесово	51	510	55	898	185	3000	12	514	14	2	<1	<1	<1
Лесово	67	130	128	960	28	19	4	23	6	<1	<1	9	<1
Лесово	73	430	64	838	202	230	7	494	19	3	<1	14	<1
Лесово	76	636	78	1600	185	60	27	157	5	1	<1	25	<1
Лесово	77	667	69	1200	193	247	2	30	3	1	<1	<1	<1

З а б е л е ж к а. Данните са от атомно-абсорбционен анализ; избрани са само проби с по-голям брой едновременно определени елементи-примеси; празните полета в таблицата означават, че елементът не е определян, а чертичките — че с използваната методика даденият елемент не се открива.

съдържание в галенита се отличават преди всичко халкофилните и благородните елементи, докато лито- и сидерофилните оксилемента обикновено се разсейват в него.

Сфалерит. Сфалеритът също принадлежи на продуктивната кварц-сфалерит-галенитова минерална парагенеза. Той е относително по-слабо

Т а б л и ц а 2

Статистически параметри на елементите-примеси в галенита

Находище	Елемент	Брой проби	Размах, g/t	Средно съдържание, g/t	Стандарт, g/t	Коефициент на вариация, %
1	2	3	4	5	6	7
Устрем		1	463			
Лесово	Ag	6	130—636	395	200	51
Барита		5	190—356	270	80	30
Средно за рудното поле		12	130—636	340	155	46
Устрем		3	0,002—0,066	0,025		
Лесово	Au	7	0,002—0,10	0,019	0,036	190
Барита		6	0,002—0,31	0,073	0,124	170
Средно за рудното поле		16	0,002—0,31	0,040	0,081	200
Устрем		1	142			
Лесово	Sb	6	55—130	80	29	36
Барита		3	280—320	295	22	8
Средно за рудното поле		10	55—320	175	114	65
Устрем		1	528			
Лесово	Bi	6	838—1600	1050	368	35
Барита		3	49—130	100		
Средно за рудното поле		10	49—1600	570	526	92
Устрем		1	204			
Лесово	Cu	5	2—27	10	10	100
Барита		2	22—41			
Средно за рудното поле		8	2—204	40	68	169
Устрем		1	250			
Лесово	Zn	5	19—247	109	122	112
Барита		2	1—12	7	8	110
Средно за рудното поле		8	1—250	68	103	151
Устрем		1	98			
Лесово	Cd	5	30—200	160	73	46
Барита		2	44—275			
Средно за рудното поле		8	30—275	150	86	57
Устрем		1	8			
Лесово	Ga	5	1—25	9,8	10	105
Барита		2	1—4			
Средно за рудното поле		8	1—25	7,7	8,5	110
Устрем		1	<1			
Лесово	Tl	5	<1	<1		
Барита		2	2—10	6	5,7	94
Средно за рудното поле		8	<1—10	1,9	3,3	175

Табл. 2 (продължение)

1	2	3	4	5	6	7
Устрем		1	614			
Лесово	Fe	5	23—514	244	244	100
Барита		2	6—146			
Средно за рудното поле		8	6—614	250	250	100
Устрем		1	18			
Лесово	Mn	5	3—19	9,4	6,8	72
Барита		2	1—2			
Средно за рудното поле		8	1—19	8,5	7,3	86
Устрем		1	1			
Лесово	Ni	6	<1	<1		
Барита		3	<1	<1		
Средно за рудното поле		10	<1—1	<1		
Устрем		1	<1			
Лесово		4	1—3	1,8	1,0	53
Барита		3	<1	<1		
Средно за рудното поле	Co	8	<1—3	1		

З а б е л е ж к а. Данните за златото са от неутронно-активационен анализ, а за всички останали елементи-примеси — от атомно-абсорбционен анализ. Освен тях полуколичествено спектрално са установени: Sn — 1—30 g/t (средно 1,2 g/t) за всички находища; Ti — 10—50 g/t (средно 20 g/t) за всички находища; Te — 10 g/t (средно 1,2 g/t) само за находище Лесово; Mo и Cr — 2—3 g/t (средно <1 g/t) само за находище Барита; W — 30 g/t (средно 3 g/t) за находище Лесово; Hg — 0,6 g/t в една проба от находище Барита.

Т а б л и ц а 3

Съдържание на елементи-примеси в избрани проби от сфалерит

Находище	Образец, №	Fe, %	Mn, g/t	Co, g/t	Ni, g/t	Cu, g/t	Pb, g/t	Cd, %	Ga, g/t	In, g/t
Барита		4,40	594	112	9	241	900	0,36	<1,0	
Барита	52	2,05	664	73	2	96	800	0,41	36,0	
Барита	56	3,05	386	93	5	687	860	0,48	7,0	
Барита	58	1,25	707	58	3	77	891	0,49	55,0	
Барита	59	3,35	522	68	3	1000	806	0,41	14,0	
Барита	1/76	4,25	416					0,35	42,8	4,2
Барита	3/76	1,44	295					0,43	20,4	11,2
Барита	4/76	1,33	191					0,43	29,0	32,5
Барита	5/76	1,56	303					0,47	75,8	15,5
Барита	ЛТ/6	3,79	562					0,43	43,2	9,6
Барита	ЛТ/12	2,05	301					0,47	25,1	29,5
Устрем	46	2,30	278	77	3	47	119	0,36	12,0	
Устрем	1/80	2,95	409					0,44	39,2	21,0
Устрем	6/80	4,64	542					0,42	20,2	11,0
Устрем	10/80	4,44	504					0,41	4,0	24,0
Лесово	51	5,95	876	190	4	1000	1100	0,36	3,0	
Лесово	70	7,68	1200	205	8	1700	1300	0,42	28,0	
Лесово	72	7,15	1100	245	4	324	1300	0,40	22,0	

З а б е л е ж к а. Данните за елементите са от атомно-абсорбционен анализ с изключение на тези за In (от количествен спектрален анализ); празните места в таблицата означават, че конкретният елемент не е определян с използваната методика; избрани са само пробите с повече едновременно определени елементи-примеси в тях.

Таблица 4

Статистически параметри на елементите-примеси в сфалерити

Находище	Елемент	Брой проби	Размах, g/t	Средно съдържание, g/t	Стандарт, g/t	Коефициент на вариация, %
1	2	3	4	5	6	7
Устрем	Fe, %	5	2,07—4,64	3,28	1,20	36
Лесово		3	5,95—7,68	6,39		
Барита		17	1,18—4,40	2,64		
Средно за рудното поле		25	1,18—7,68	3,27	1,80	54
Устрем	Mn, g/t	5	220—540	390	140	36
Лесово		3	875—1200	1060		
Барита		18	190—707	460		
Средно за рудното поле		26	190—1200	520	254	49
Устрем	Co, g/t	2	75—77	215	28	13
Лесово		3	190—245			
Барита		6	58—112			
Средно за рудното поле		11	58—245	120	68	56
Устрем	Ni, g/t	2	3—12	5,3		
Лесово		3	4—8			
Барита		6	2—9			
Средно за рудното поле		11	2—12	5,3	3,3	62
Устрем	Cd, %	4	0,36—0,416	0,407	0,034	8
Лесово		3	0,36—0,42	0,393		
Барита		12	0,35—0,49	0,431		
Средно за рудното поле		19	0,35—0,49	0,420	0,043	10
Устрем	In, g/t	3	11—23	18,6	6,5	35
Лесово		5	7—30	14,0		
Барита		12	4,2—120	42,3		
Средно за рудното поле		20	4,2—120	37,6	33,7	90
Устрем	Ga, g/t	4	4—39	19	15	79
Лесово		3	3—28	18		
Барита		17	1—76	37		
Средно за рудното поле		24	1—76	32	21	65
Устрем	Cu, g/t	1	47	1000	688	69
Лесово		4	324—1700			
Барита		5	77—1000			
Средно за рудното поле		10	47—1700	575	565	99
Устрем	Au, g/t	5	0,003—0,056	0,0214	0,0224	105
Лесово		5	0,003—0,069	0,0285		
Барита		8	0,003—0,059	0,0231		
Средно за рудното поле		18	0,003—0,069	0,0241	0,0273	131

Табл. 4 (продължение)

1	2	3	4	5	6	7
Устрем		3	<0,5	<0,5		
Лесово		7	<0,5	<0,5		
Барита	Ag, g/t	6	<0,5	<0,5		
Средно за рудното поле		16	<0,5	<0,5		
Устрем		2	100—120			
Лесово		3	1000—1300	1100		
	Pb, g/t					
Барита		6	800—900	890	70	8
Средно за рудното поле		11	100—1300	800	100	12

Забележка. Данните за Au и Ag са от активационен анализ, за In — от количествен спектрален анализ, а за всички останали елементи-примеси — от атомно-абсорбционен анализ. Освен тях полуколичествено спектрално са установени: Bi — 3—50 g/t (средно 10 g/t) за находище Устрем, 1—10 g/t (средно 4 g/t) за находище Барита и 2—50 g/t (средно 17 g/t) за находище Лесово; Sn — 2—20 g/t (средно 5 g/t) за находище Устрем, 1 g/t (средно под 1 g/t) за находище Барита и 1—5 g/t (средно 1,5 g/t) за находище Лесово; Ti — 20 g/t (средно 3 g/t) за находищата Барита и Лесово, Mo и Ge — 1—2 g/t (средно под 1 g/t) за находищата Барита и Лесово; Cr — 2 g/t (средно <1 g/t) за находище Лесово; Hg — 12 g/t (химични данни) за находище Барита.

разпространен от галенита в находищата. На цвят обикновено е кафяв, но в находище Лесово по-чести са неговите черно-кафяви до черни разновидности.

От установените в сфалерита елементи-примеси само Ti, Cr, Ge и Mo се откриват в единични проби и при това с ниско съдържание (табл. 3 и 4). Всички останали елементи-примеси могат да се отнесат към групата на характерните за минерала примесни елементи (откриваемост в над 50% от пробите). С най-високо съдържание сред тях се отличават Fe, Cd, Cu, Pb, Mn, отчасти Co, Ga и In, докато Ni, Ag, Bi и Sn имат съдържания под 10 g/t, а Hg и Au — дори и под 1 g/t. Спрямо кларка си в земната кора силно повишена и повишена концентрация показват не всички елементи-примеси. Такава е характерна само за Cd, In, Pb, Cu, Hg, Au, Bi и Co. От елементите с изчислен минерален и рудно-минерален кларк в сфалерита единствено Cd има по-висока стойност, докато съдържанието на In и Ge е по-ниско от тях, а това на Ga — по-високо от рудно-минералния и равно на минералния кларк. Характерна особеност в геохимията на сфалерита следователно е повишената концентрация на сулфофилните елементи в него. За разлика от галенита обаче натрупване в сфалерита показват и някои сидерофилни и литофилни оксиеlementи (Fe, Co, Mn), докато благородните метали (Au и особено Ag) имат по-ниско съдържание.

Получените от нас резултати свидетелствуват още и за добре проявяваща се привързаност на по-високите съдържания на Fe, Mn, Cu, Pb и Co към тъмнооцветените разновидности на сфалерита, както и за тясна зависимост на концентрацията на някои елементи-примеси (права за Mn и Co и обратна за In и Ga) от съдържанието на Fe в сфалерита (табл. 3). Общо сфалеритите от отделните находища в рудното поле се различават добре по стойностите на съдържанието на повечето от установените в тях елементи-примеси (табл. 3 и 4). Относително постоянно остава единствено съдържанието на

Cd, което е в противоречие на приведените от К о в а ч е в а (1986) различни съдържания на този елемент в сфалерита от трите изучени находища.

Пирит и халкопирит. В сравнение с галенита и сфалерита пиритът и халкопиритът са значително по-слабо разпространени минерали в находищата. Пиритът принадлежи на две минерални парагенези: кварц-пиритова (пирит I генерация — основна) и кварц-сфалерит-галенитова (пирит II генерация — в подчинено количество). Халкопиритът е представен само от една генерация, влизаща в парагенезата на кварц-сфалерит-галенитовия стадий на минерализация.

От пирита с неголям брой проби е изучена само първата му генерация (пирит I генерация, дребнозърнести мономинерални агрегати) (табл. 5). Специфична нейна особеност са повишените концентрации на Cu, As, Pb, Tl, Zn, Sb и Ga. Високо е и съдържанието на Mn в минерала. Другите елементи-примеси се характеризират с по-ниска откриваемост в пробите (под 50%) и средно съдържание под 10 g/t (Co, Ni, Ti, Ag, Cr, Mo, Bi, Cd, Sn) и дори под 1 g/t (Au, Hg, V).

Пиритът I генерация от находище Устрем се различава от този в находище Барита с по-високото съдържание на Mn, Cu, Tl, Sb, As, Co и Ni. Специфична особеност на изследваната пиритова генерация е също така повишената концентрация на Tl (142—1500 g/t, средно 820 g/t), Cu (4200—8500 g/t, средно 6400 g/t), As (от 600 до над 1000 g/t, средно над 800 g/t), Sb (18—183 g/t, средно 100 g/t) и Mn (13—237 g/t, средно 102 g/t).

Т а б л и ц а 5

Съдържание на елементите-примеси в пирит и халкопирит

Елемент	Вид на анализа	Пирит		Халкопирит		
		Устрем (1)	Барита (2)	Устрем (2)	Барита (1)	Лесово (1)
		съдържание, g/t	размах, g/t	размах, g/t	съдържание, g/t	съдържание, g/t
Cu	ААА	8500	4200	+	+	+
Zn	ААА	340	100—150	1200—2000	830	4000
Cd	ААА	5	<1	11	8	77
Pb	ААА	715	918	196	82	22
Bi	ААА	5	<1	<1	<1	<1
Sb	ААА	183	18	<1	<1	<1
Ga	ААА	48	55	35	25	18
Tl	ААА	1500	142	8	9	10
Ni	ААА	<1	12—13	<1	<1	48
Co	ААА	31	6—12	4	2	65
Mn	ААА	237	13—55	3	10	17
Au	НАА	0,253	0,016—0,12	0,055—0,162	0,087	—
Ag	НАА	12,7	<0,5	—	131,8	155,4
Hg	КСА	н. о.	0—0,1	—	—	—
In	КСА	—	—	1,8	—	—
As	ПСА	>1000	600	—	—	—
Ge	ПСА	—	—	1	—	—
Mo	ПСА	1	0—10	1—7	3	2
Sn	ПСА	2	сл—5	15—20	10	15
V	ПСА	3	—	3	3	3
Ti	ПСА	—	10	0—300	—	—
Cr	ПСА	—	6	—	—	—

З а б е л е ж к а. „+“ — главен компонент в минерала; „н. о.“ — не е определен; цифрата в скоби след названието на находищата — брой на анализиранияте проби; ААА — атомно-абсорбционен анализ; НАА — недеструктивен неутронно-активационен анализ; КСА — количествен спектрален анализ; ПСА — полуколичествен спектрален анализ.

Таблица 6

Съдържание на елементите-примеси (g/t) в кварц по данни от полуколичествен спектрален анализ

Елемент	Кварц А		Кварц Б							
	Барита		Барита		Лесово			Рудно поле		
	N	R	N	R	N	R	\bar{x}	N	R	\bar{x}
Cu	1	1	2	70	7	7—70	24	9	7—70	35
Pb	1	6	2	15—100	7	15—100	36	9	15—100	40
Zn	1	—	2	150	7	100—700	400	9	100—700	350
Fe	1	300	2	—	7	10—100	30	9	0—100	23
Mn	1	30	2	100—300	7	5—50	135	9	5—30	150
Ti	1	30	2	50—150	7	0—50	7	9	0—150	25
Cr	1	6	2	—	7	—	—	9	—	—
Ag	1	следи	2	0—0,3	7	0,2—0,5	0,3	9	0,2—0,5	0,3
Be	1	следи	2	—	7	—	—	9	—	—
Bi	1	—	2	—	7	0—7	1	9	0—7	<1
Ba	1	300	2	700	7	—	—	9	0—700	150
Sr	1	3	2	0—300	7	—	—	9	0—300	30
Al	1	н. о.	2	н. о.	7	50—300	120	9	50—300	120
Au	1	0,002	4	0,002—0,009	6	0,002—0,006	0,003	10	0;0,002—0,009	0,004

Забележка. Кварц А — кварц от барит-флуоритовата парагенеза; Кварц Б — кварц от кварц-сфалерит-галенитовата парагенеза; „н.о.“ — не е определян; N — брой на анализиранияте проби; R — размах на съдържанията (g/t); \bar{x} — средно съдържание (g/t).

Халкопиритът също е изучен с неголям брой проби (табл. 5). От установените в него елементи-примеси постоянна концентрация и в трите находища показват Tl, Mo, Sn, V, Bi и Sb (последните два елемента със съдържание под 1 g/t). Съдържанията на останалите изброени елементи-примеси също не са високи и не превишават 10—20 g/t. In, Ge и Ti се откриват само в част от изучените проби. Всички други елементи-примеси в халкопирита (Pb, Ag, Zn, Cd, Ga, Co, Ni, Mn) имат съдържания, които са различни за трите изследвани находища в рудното поле. Те се отличават освен това и с най-висока концентрация в пробите от находище Лесово (изключение тук са само елементите Pb и Ga). Правят впечатление още и повишеното съдържание на Ag в халкопирита (28,8—155,4 g/t, средно 105,3 g/t) и близките концентрации на Ni и Co в него. Макар и по-концентрирани по отношение на кларка си в земната кора, Cd и In имат по-ниски стойности от минералния си кларк.

От установените в пирита и халкопирита елементи-примеси преобладават сулфофилните и благородните елементи при подчинено участие на сидерофилната група оксифилни елементи (Ni, Co, V, Cr).

Кварц. Кварцът участва в изграждането и на четирите отделени в рудното поле минерални парагенези. Изучени са обаче (табл. 6) само двете му най-широко разпространени генерации: кварц А (от барит-флуоритовата парагенеза) и кварц Б (от кварц-сфалерит-галенитовата парагенеза).

Специфична особеност и за двете кварцови генерации е откриването в тях общо на неголям брой елементи-примеси. Постоянно се установяват Cu, Pb, Mn, Al, Ag и Au. Само в част от анализиранияте проби се откриват Zn, Ti, Fe, Bi, Ba, Sr, Be и Cr. От получените данни се вижда, че по съдържание на преобладаващата част от елементите-примеси двете кварцови генерации се различават добре помежду си. Обикновено обогатен с тях е кварцът от кварц-сфалерит-галенитовата парагенеза (кварц-Б), което не може да се обясни само с допускането за механично онечистване на пробите му при тяхното отбиране и смилане. Наблюдават се освен това и някои различия в

стойностите на отделните елементи-примеси в кварца на кварц-сфалерит-галениновата парагенеза съответно от находище Барита и находище Лесово (табл. 6).

За разлика от вече разгледаните сулфидни минерали в кварца се установява преобладаването на литофилните елементи от оксифилната група, докато халкофилните и благородните елементи имат подчинено участие.

Флуорит. От данните от анализите (табл. 7) на флуорита от находищата Барита и Лесово се очертава по-високо средно съдържание на Pb, Cu, Be, Y и по-ниско на Mn във флуорита от находище Барита спрямо флуорита от находище Лесово. С еднакви или близки съдържания в двете находища се характеризират Sr, Ti и Ag, докато примесите от Zn, Yb, As и Ba са типични само за флуорита от находище Барита, а тези от Fe — за флуорита от находище Лесово. Общо флуоритът от изучените находища се отличава с невисока концентрация на елементите от групата на редкоземните елементи, която е по-ниска от тази във флуоритите от други наши флуоритови находища по данни на Тодоров и Вардаджиев (1973). Резултатите от неутронно-активационния анализ говорят освен това и за еднакъв характер на нормираните криви на разпределение на лантаноидите във флуорита от находищата Барита и Лесово, което е показател за единен източник на компонентите в разтворите за образуването им. Генетичен смисъл има и ниското съдържание на Sr в разглеждания минерал, което дава основание да се търси връзка на минерализациите в изследваните находища с кисел по състав магматизъм. Подобен извод бе направен по-рано от Тодоров и Вардаджиев (1973) и за флуоритовите минерализации в находищата Михалково и Палат за разлика от същите минерализации в находище Югово, където рязко повишеното съдържание на Sr във флуорита, а така също и в барита и калцита сочи за връзката им с алкален по характера си магматизъм.

Барит. Най-високо съдържание от откриващите се в този минерал примеси показват само Sr, Mn, Pb и Cu (табл. 7). Останалите елементи-примеси в него са със съдържания под 10 g/t. Установено е наличието на U, Y и La, както и на кларкови съдържания от Au. Ниското съдържание на Au в барита се разглежда от нас (Тодоров, 1983) като възможен критерий за отсъствието на интересни от промишлена гледна точка концентрации от Au в останалите рудни и нерудни минерали в находищата и в минерализациите в рудното поле като цяло. Общо за барита също е характерно преобладаването по брой и концентрация на елементите от оксифилната литофилна група.

Калцит. В калцита се установяват доста от елементите-примеси, наблюдавани в барита и флуорита (табл. 7). За разлика от посочените два минерала в калцита обаче не се откриват Ni, Sb, Bi, Zn, Be, Ba и Ti. Повечето от елементите-примеси в него са представители на оксифилната литофилна група. Относително високата концентрация на As в него вероятно е следствие от механично онечистване на две от пробите с микровключения от арсенопирит.

Съдържание на елементите-примеси в рудите

Геохимичният спектър на рудите в находищата от Устремското рудно поле е изучен по примера на минерализацията в находище Барита. Получените за рудите в това находище данни сочат за присъствието на широк спектър от елементи, с най-висок кларк на концентрация K_k от които се характеризират Pb, Bi ($K_k > 1000$), Sb, Ag, As, In, Zn, Cd, Ba и Cu (K_k между 100 и

Таблица 7

Съдържание на елементите-примеси във флуорит, барит и калцит (g/t)

Елемент	Вид на анализа	Флуорит				
		Барита			Лесово	
		N	R	\bar{x}	N	R
Cu	ПСА	5	20—30	27	2	10—20
Pb	ПСА	5	70—300	220	2	30—50
Pb	ХА	2	<50—150	—	—	—
Zn	ПСА	4	0—50	20	2	—
Ag	ПСА	4	0—0,2	<0,1	2	0,2
Mn	ПСА	5	10—200	90	2	100—300
Mn	РФА	1	<20	—	—	—
Ni	ПСА	5	—	—	2	—
Co	НАА	2	—	—	—	—
Cr	НАА	2	0—1,1	—	—	—
Fe	ПСА	5	—	—	2	20—30
Ti	ПСА	5	0—30	10	2	10
Sr	ХА	5	38—46	40	1	46
Sr	РФА	1	44	—	—	—
Sr	ПСА	5	70	70	2	70
Ba	ПСА	5	300—500	350	2	—
Ba	НАА	2	100—110	—	—	—
Be	ПСА	5	0,3—5	1,5	2	1
Bi	ПСА	5	—	—	2	—
As	НАА	2	0—0,1	—	—	—
As	ПСА	5	10—50	30	2	—
Sb	НАА	2	—	—	—	—
Sb	ПСА	5	—	—	2	—
U	НАА	2	—	—	—	—
Y	ПСА	5	20—50	35	2	10—20
Yb	ПСА	5	1—3	2	2	—
Yb	НАА	2	0—0,7	—	—	—
La	ПСА	5	—	—	2	—
La	НАА	2	0—0,90	—	—	—
Ce	НАА	2	0—2,3	—	—	—
Sm	НАА	2	1,0—1,1	—	—	—
Eu	НАА	2	0—0,38	—	—	—
Tb	НАА	2	0,4—0,7	—	—	—
Cs	НАА	2	—	—	—	—
Ga	ПСА	5	—	—	2	—
Ge	ПСА	5	—	—	2	—
Au	НАА	6	<0,003—0,006	<0,003	2	<0,003

З а б е л е ж к а. „+“ — главен компонент на минерала; ПСА — полуколичествен спектрален неутронно-активационен анализ; N — брой на анализирани проби; R — размах на съдържа

10); Мо, Ве и Sn също се концентрират в рудите, като кларкът им на концентрация варира от 10 до 4. Останалите установени елементи в находището имат около и подкларкови стойности на съдържанията си в рудите, поради което се разглеждат като елементи, намиращи се в състояние на разсейване (Sr, Ga, Yb, Ge, V, Co, Mn, Ti, Fe, Cr, Sc, La, Ni, Zr, и Y). Собствени минерали в рудите образуват най-вече елементите с много висока и висока концентрация в рудите, докато тези, характеризиращи се с около- и подкларкови съдържания, най-често са резултат от изоморфно включване в решетките на основните рудни и нерудни минерали в жилите и в минералите на заграбените от тях вместиращи скали.

Рудно поле			Барит			Калцит		
N	R	\bar{x}	Барита			Лесово		
			N	R	\bar{x}	N	R	\bar{x}
7	10—30	24	5	1—70	40	3	30	30
7	30—300	170	5	60—300	175	3	100	100
2	50—150		1	<50		—	—	—
6	0—50	10	5	0—200	50	3	—	—
6	0—0,2	<0,1	5	0,2—2	0,6	3	0,3—1	0,6
7	10—30	120	5	30—1000	460	3	1,0%	1,0%
1	<20		—	—	—	—	—	—
7	—	—	5	0—7	1,5	3	—	—
2	—	—	2	0—0,4		—	—	—
2	0—1,1		2	—	—	3	—	—
7	0—30	7	5	—	—	3	1500	1500
7	0—30	8	5	следи — 200	70	3	—	—
6	38—46	45	4	1,3—1,5%	1,38%	2	132—135	
1	44		—	—	—	—	—	—
7	70	70	5	>1,0%	>1,0%	3	70—150	110
7	0—350	250	+	+	+	3	—	—
2	100—110		+	+	+	—	—	—
7	0,3—5	1,4	5	следи	следи	3	—	—
7	—	—	5	2	<1	3	—	—
2	0—0,1	0,05	2	—	—	—	—	—
7	0—50	20	5	20	8	3	0—500	260
2	—	—	2	0—1,0		—	—	—
7	—	—	5	0—70	14	3	—	—
2	—	—	2	0—6,7		—	—	—
7	10—50	30	5	0—60	10	3	3—5	4
7	0—3	1,5	5	—	—	3	1	1
2	0—0,7		2	—	—	—	—	—
7	—	—	2	—	—	3	0—50	30
2	0—0,9		2	0—0,5		—	—	—
2	0—2,3		2	—	—	—	—	—
2	1,0—1,1		2	—	—	—	—	—
2	0—0,38		2	—	—	—	—	—
2	0,4—0,7		2	—	—	—	—	—
2	—	—	2	0,7—1,1		—	—	—
7	—	—	5	—	—	3	0—2	<1
7	—	—	5	—	—	3	0—1	<1
8	<0,003—0,006	<0,003	5	<0,003—0,005	0,003	3	<0,003	<0,003

анализ; ХА — химичен анализ; РФА — рентгенофлуоресцентен анализ; НАА — неструктивен
 нията (g/t); \bar{x} — средно съдържание (g/t).

Заклучение

От приведените данни се вижда, че по отношение на сходните им по състав минерализации в Родопите оловно-цинковите находища от Устремското рудно поле имат редица отличителни общогеоложки, минераложки, геохимични и генетични белези. В района на Устремските находища отсъствуват например имащите доста широко разпространение в Централните и особено в Източните Родопи магмени скали с приабон-олигоценска и миоценска възраст. Твърде характерни за минерализациите в повечето от находищата му са флуоритът и баритът, които са резултат от проявата на самостоятелен барит-флуоритов стадий на минерализация. Оловно-цинковото орудяване в тях е по-късно и се налага върху парагенезата на посочения стадий за разлика от Родопските оловно-цинкови находища, където двата минерала са

продукти на заключителните стадии на минералообразователните процеси и са много редки. Специфичен само за разглежданите находища е проявеният в тях повсеместен поструден метаморфизъм на рудите. Съществени са също така различията, които показват помежду си данните за изотопния състав на оловото в галенита от двете групи оловноцинкови находища — участие в състава на рудите от Устремското рудно поле на доста по-старо олово (моделна възраст 253—270 Ма) при значително по-млад източник (16—74 Ма) на този елемент в Родопските находища (А м о в и др., 1985; 1989). Количеството и характерът на флуидните включения и типът и отчасти температурата им на хомогенизация в двете групи оловно-цинкови находища също се различават (Т о д о р о в, К р ъ с т е в а, 1990).

Съпоставяйки получените данни за съдържанието на елементите-примеси в минералите и рудите на Устремските находища с идентичните данни за сходните им по състав минерализации в Родопите (Д и м и т р о в, 1966; Е с к е н а з и и др., 1972; 1977; 1979; М и н ч е в а-С т е ф а н о в а, 1973; К о л ъ к о в с к и и др., 1978; 1980; Т о д о р о в и др., 1988; Б р е с к о в с к а, 1988; непубликувани данни на авторите), между тях също се констатира определени различия. Съществуват още различия и в съдържанията на елементите-примеси в едни и същи минерали от отделните находища на Устремското рудно поле (табл. 2, 4, 5, 6 и 7).

К и р о в (1963) описва пневматолитовите образувания (с молибденит) в рудното поле като ларамийски, а самото оловно-цинково орудяване приема за миоценско и го свързва с олигоценмиоценския магматизъм в Родопския масив. Позовавайки се на пространствената близост и структурната връзка на минерализациите от Устремското рудно поле с приеманата от тях за ларамийска Гранитовска интрузия, на повишения кларк на оловото в гранитите и на отсъствието на по-млад магматизъм в съседство с находищата, М и л е в и М и л е в а (1963) приемат разглежданите минерализации също за ларамийски.

Напоследък се натрупаха нови данни, които позволяват решаването на въпроса за времето на образуване на разглежданите находища в по-друга светлина. На първо място това са установените от С к е н д е р о в и др. (1986) в границите на находищата от Устремското рудно поле биотитови жили с възраст 145 ± 6 Ма (К-Аг датировка). Според цитираните автори и по наши наблюдения посочените биотитови жили разсичат оловно-цинковото орудяване в рудното поле. Това показва, че минералообразуването в последното е по-старо от кредата и по всяка вероятност е юрско, когато е възможно да се е внедрила и Гранитовската интрузия. Свързаните с гранитите на тази интрузия хидротермални разтвори са извлекли съдържащото се във вместващите скали пермско (А м о в и др., 1985; 1989) олово и са го преотложили в находищата. Косвен признак за връзка на минерализациите с подобен кисел по състав магматизъм са и данните за ниското съдържание на Sr във флуорита и барита в тях. Данните за изотопния състав на S и Pb пък сочат за единен и хомогенен източник на двата елемента в находищата (А м о в и др., 1985; 1989; Д и м и т р о в и др., 1986).

Всички отбелязани досега особености на оловноцинковите находища в Устремското рудно поле дават основание те да се смятат за различни и по-стари от оловно-цинковите орудявания в Централните и Източните Родопи. По класификацията на металоформациите у нас те напълно справедливо са обособени в самостоятелна флуорит-барит-полиметална рудна формация (В а с и л е в, 1982). Отнасянето им от М и л е в и Б о г д а н о в (1974) и някои други изследователи към една единна полиметална или оловно-цинкова рудна формация трябва да се разглежда като неправомерно.

Авторите благодарят на колегите-геолози от ДМП „В. Коларов“ за съдействието при събирането на образците, както и на сътрудниците на различните лаборатории, извършили анализите на мономинералните и рудните проби.

Л и т е р а т у р а

- А м о в, Б., Ц. Балджиева, В. Бресковска, Р. Димитров, Б. Кольковски, Х. Стойков, Т. Годоров. 1985. Изотопный состав свинца, вопросы генезиса и возраста месторождений Южной Болгарии. — Геол. рудн. местор., 20, № 3, 3—17.
- А м о в, Б., Р. Димитров, В. Гергелчев, Х. Стойков, О. Малинов. 1989. Сравнителен анализ на изотопния състав на оловото в галенити от Устремското рудно поле и някои находища от Средногорската и Старопланинската зона. — Рудообр. проц. и минер. наход., 29, 3—13.
- Б р е с к о в с к а, В. 1988. Минералогия и генезис на Маджаровската и други оловно-цинкови минерализации от Авренско-Маджаровския руден пояс. Докт. дисертация, Соф. унив. 401 с.
- В а с и л е в, Л. 1982. Металлоформации в Болгарии — опыт классификации. — Geol. Balc., 12, No 3, 2-21.
- В и н о г р а д о в, А. П. 1962. Среднее содержание элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — Геохимия, 7, 555—571.
- Д и м и т р о в, Д. А., П. Замфирова. 1988. Устремско рудно поле. — В: Оловно-цинкови находища в България. С., Техника, 168—174.
- Д и м и т р о в, Д. К. 1966. Редки и разсеяни елементи в полиметалните месторождения на Лъкинското рудно поле. — Изв. НИГИ, 3, 215—231.
- Д и м и т р о в, Р., К. Богданов, В. Бресковска, С. Мънков, Д. Арвадзе, В. Ярошевич. 1986. Изотопен състав на сярата от оловно-цинковите и меднорудните находища в България. — Рудообр. проц. и минер. наход., 25, 3—21.
- Е с к е н а з и, Г., Б. Кольковски, П. Петров. 1972. Галенит от месторожденията по разлома Сполука-Лайков чукар (Маданско). — Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 63, кн. 1 — геология, 135—166.
- Е с к е н а з и, Г., Б. Кольковски, Е. Пейчева. 1977. Елементи-примеси в пирита от някои оловно-цинкови находища в Маданското рудно поле. — Рудообр. проц. и минер. наход., 7, 38—56.
- Е с к е н а з и, Г., Б. Кольковски, Е. Минчева. 1979. Елементи-примеси в галенита от някои оловно-цинкови находища от Маданското рудно поле. — Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 70, кн. 1 — геология, 365—384.
- И в а н о в, В. В. 1966. Геохимия разсеянных элементов в гидротермальных месторождениях. М., Недра. 389 с.
- К и р о в, Г. К. 1963. Минераложки изследвания на рудните находища в околностите на с. Устрем. — Тр. геол. България, сер. геохим., минерал. и петрогр., 4, 191—213.
- К о в а ч е в а, Ж. 1986. Температура и солеви режим на минералообразуване в Устремското рудно поле. — Год. ВМГИ, 31, № 2, 133—142.
- К о ж у х а р о в, Д. 1986. Корреляция докембрия южных частей Балканского полуострова. — Geol. Zb., 37, № 3, 317—333.
- К о ж у х а р о в а, Е., Д. Кожухаров. 1973. Стратиграфия и петрология на докамбрийските метаморфни скали от Сакар планина. — Изв. Геол. инст. БАН, 22, 193—213.
- К о л ь к о в с к и, Б., Г. Ескенази, Д. Добрев. 1978. Минералогия и геохимия на находищата по разлома Сполука-Лайков чукар, Маданско. — Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 69, кн. 1 — геология, 125—170.
- К о л ь к о в с к и, Б., К. Богданов, С. Петров. 1980. Минералогия, геохимия и генетични особености на находищата по разлома Голям Палас-Рибница, Маданско рудно поле. — Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 74, кн. 1 — геология, 97—139.
- Л и л о в, П. 1990. Rb-Sr и K-Ag датирование Сакарского гранитоидного плутона. — Geol. Balc., 21, No 6 (под печат).
- М и л е в, В., Б. Богданов. 1974. Структурно-металлогенические зоны и рудные формации на территории Болгарии. — В: Двенадцать рудн. месторождений Болгарии. С., БАН, 29—54.

- Милев, В., Г. Милева. 1963. Геология и характерни особености на оловно-цинковото месторождение Устрем. — Тр. геол. България, сер. геохим., минерал. и петрогр., 4, 173—190.
- Минчева-Стефанова, Й. 1973. Химизъм на сфалерита от оловно-цинковите находища в България. — Изв. Геол. инст. БАН, сер. геохим., минерал. и петрогр., 22, 227—303.
- Прохоров, В. Г. 1970. Пирит. — Тр. Сиб. науч.-исследов. инст. геол., геоф. и минерал. сурьба, 102. Красноярск. 188 с.
- Скендеров, Г., У. Желязкова, М. М. Аракелянц, Е. И. Котов, И. Г. Пальшин, П. Лилов. 1986. Биотитовите жили от Устрем-Лесовското рудно поле и тяхното значение като гехороноложки репер. — Сп. Бълг. геол. д-во, 47, № 3, 84—89.
- Тодоров, Т. 1979. Фуксит от оловно-цинковото находище Устрем. — Геохим., минерал. и петрол., 10, 54—63.
- Тодоров, Т., И. Вардаджиев. 1973. Геохимични изследвания във флуоритовите находища от Михалковското рудно поле. — Изв. Геол. инст. БАН, сер. рудни и нерудни пол. изкол., 22, 135—153.
- Тодоров, Т., М. Кръстева. 1986. Температурные условия образования флюоритовой минерализации Болгарии. — В: Условия образов. рудных месторождений. Т. 1. М., Недра, 26—34.
- Тодоров, Т., В. Коларова, М. Кръстева, Р. Янкова. 1988. Елементи-примеси в минералите на находищата от Давидковското рудно поле. — Геохим., минерал. и петрол., 24, 86—104.
- Тодоров, Т., М. Кръстева. 1990. Температурни условия на образуване на оловно-цинковите находища от Устремското рудно поле, Югоизточна България. — Сп. Бълг. геол. д-во, 51, № 2, 24—32.
- Todorov, T. 1983. Gold content in baryte as a geochemical indicator for gold-bearing mineralizations. — In: 10th Int. Geochem. Explor. Symp. and 3rd Symp. on Method. of Geochem. Prosp., Espoo, Helsinki. p. 83.

Одобрена на 28. VI. 1990 г.

Accepted June 28, 1990