

Пространствена корелация между елементите в находище Челопеч

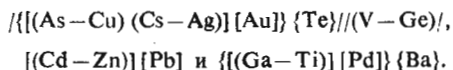
В. Ковачев¹, С. Бакърджиев¹, Ч. Гюров¹, Д. Димов²

¹ Минно-геоложки университет, 1156 София

² Минно-обогатително предприятие „Челопеч“, с. Челопеч, Софийска област

V. Kovachev, S. Bakardjiev, Ch. Gyurov, D. Dimov — *Spatial correlation between the elements in the Chelopech ore deposit.*

Three genetical types of mineable deposits were established at the Chelopech ore field — gold-copper-pyrite (Chelopech), gold-copper-base metal (Vozdol) and porphyry copper (Karlievo). The present studies deal to the ore bodies of first type. The ore mineralization is located within the uppercraterous volcanosedimentary complex formed of trachandesites, andesites and their pyroclastites cut by subvolcanic intrusives of similar composition. The ore bodies are embedded in the neck of the Chelopech paleovolcano. They have column and lense-like form. The ore formation started throughout the deposition of massive pyritic ore bodies followed by the copper mineralization of various composition. More than 50 minerals were determined in this deposit. The sequence of formation is marked by the following compounds oxides — native elements — sulphides — sulphosalts, tellurides, selenides, carbonides — sulphates. They form quartz — pyrite, chalcopyrite — tennantite — pyrite, enargite — luzonite, tennantite — chalcopyrite and galena — sphalerite — chalcopyrite parageneses. The last one is located at the marginal part and the others are situated at the central parts of the bodies. A spatial mineralogical and geochemical model of the ore body №6 is designed on the basis of the geochemical and mineralogical sampling at three horizontal sections. A representative group of elements (Cu, Ag, Zn, Co, Cd, Au, Ge, Rb, Cs, Rb, Cs, Ti, Pb, Bi, As, Sr, Ba, Ga, Sn, Te, Sb) was chosen. Regular statistical computations, cluster-analyses and Kriging method (Fig. 1) were used for this purpose. Several principle stable associations of different strength of the ties were established at the ore body.



The first of them is connected to the chalcopyrite — tennantite — pyrite, enargite — luzonite and tennantite — chalcopyrite paragenesis and the second is connected to the later base metal mineralization. The third group of elements is linked to the minerals typical for the host rocks.

The comparison between the 21 elements array and 7 element sampling (Cu, Au, Ag, Pb, Zn, As, Ba) shows that they are statistically equal and therefore the number of the elements analyzed could be reduced. The maps of similarity between the chemical elements illustrate the spatial position of the natural ore types. The concentric structure of the ore body including a core and a shell was confirmed (Table 1, Fig. 1, 2). The core is formed of baryte and predominant Cu — mineralization and the shell consists of Cu-As-sulphosalts massive zone enriched of rare elements (Au, Ag, Te, V, Ge etc.), Cu-As-sulphosalts dissiminated zone, Pb-Zn massive zone and Bi-Zn dissiminated zone. The morphology of these zones suggests that the ore body has a column-like form and is result of crossing NE and NW faults.

A possibility of the selective mining of ores of different quality is proved on the basis of the distribution of valuable components Cu, Ag, Au, potentially valuable Pb, Zn and the pollutant elements As. An algorithm and a package of computer programs supporting the ore typization and the selective mining of ores is proposed for this deposit.

Рудните тела в находище Челопеч се характеризират със значително геохимично и минерално разнообразие. Освен елементите Cu, Au, Ag и S, които имат промишлено значение, са установени и други елементи. Една част от тях са в концентрации, даващи осно-

вание за определянето им като „потенциално промишлени“, а друга е само с геохимично и генетично значение. Изучаването на пространственото положение и връзките между елементите и техните минерални носители и на тази основа обособяването на природни типове руди са основните задачи на настоящата работа.

Геоложка характеристика на находище Челопеч

В Челопешкото рудно поле са установени три промишлено-генетически типа находища: златно-медно-пиритен (находище Челопеч), златно-медно-полиметален (находище Воздол) и медно-порфирен (рудопроявление Карлиево) (Попов и др., 1989). Рудните тела от първия тип са обект на настоящите изследвания. Те са локализиращи във вулканоседиментен комплекс с горнокредна възраст. Разрезът на този комплекс е представен от туронски конгломерати, пясъчници, въгленосни шисти и една олистостромна пачка. Върху тях залягат долносенонски кварцови трахиандезити и андезити, дискордантни субвулкански интрузиви, дайки, некове и хипоабисални тела с приблизително същия състав. Над вулканските скали са отложени глинести варовици и карбонатно-теригенен флиш (Моєв, Антонов, 1976). Рудните тела са вместили в централната гърлова част на Челопешкия вулкан (Попов и др., 1989). Те са тръбообразни или лещовидни, а рудната минерализация замества ефузивите, като образува масивни тела, прожилки и впръследи.

Рудообразувателният процес е многоетапен. Първите прояви на рудна минерализация са синхронни с ефузивната дейност. Те, от една страна, са свързани с пропицитизация на скалите (Мутафчиев и Чипчакова, 1969), а от друга, с вулканогенно-седиментна дейност. И в двата случая главният руден минерал е пирит. Промислените рудни тела са образувани след внедряването на късните субвулкански интрузиви (Попов и др., 1989). Рудообразуването започва с отлагането на масивни пиритни тела, след което в условията на тектонска активност се формира медната минерализация. Именно тя е твърде разнообразна по елементен и минерален състав. От различни автори са установени повече от 50 минерали (Терзиев, 1968; Коваленкер и др., 1986; Попов и др., 1989), представени от следните съединения по ред на образуване: окиси — сам. елементи — сулфиди — сулфосоли, телуриди, селениди, карбонати и сулфати. Тези минерали обособяват кварц-пиритова, халкопирит-тенантит-пиритова, енаргит-лузонитова, тенантит-халкопиритова и галенит-сфалерит-халкопиритова парагенеза. Последната парагенеза изгражда периферията, а останалите — средните части на рудните тела. Тази зоналност е установена от Терзиев (1966, 1968) и се потвърждава от геохимичните изследвания на Мутафчиев (1967) и Ковачев (1979).

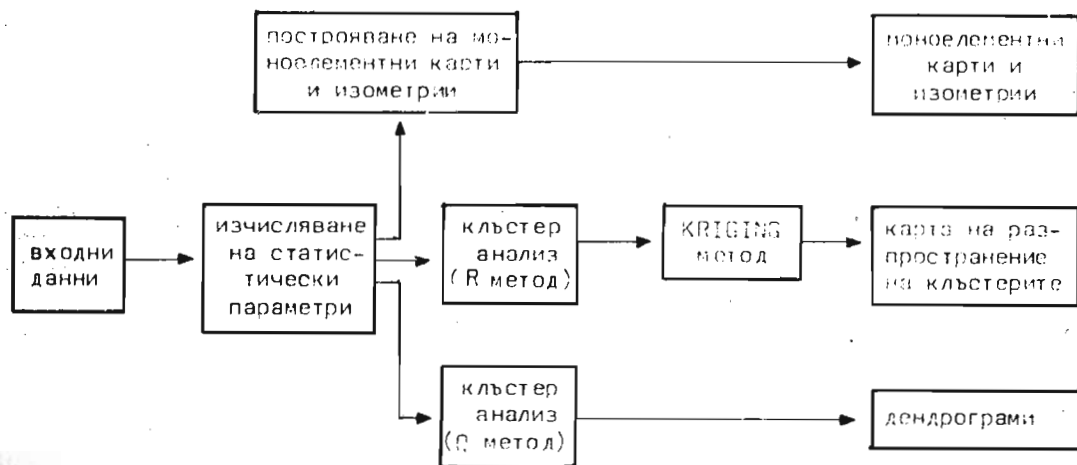
Основният рудообразувателен процес е метасоматично заместване на брекчиращи пирокластични на контактите на субвулканските тела в отворена хидротермална система, разположена в близост до дъното на водния басейн.

Методика на изследване

Рудно тяло № 6 е разкрито на три нива, които са опробвани браздово, като са взети общо 170 проби за химически анализ, дублирани с проби за минераложки изследвания. Извършени са количествени химически определения за 21 елемента: Cu, Ag, Zn, Co, Cd, Au, Ge, Rb, Cs, Ti, Pb, V, Pd, Bi, As, Sr, Ba, Ga, Sn, Te и Sb. За тази цел са използвани атомно-абсорбционен, пламъчно-спектрометричен, екстракционно-фотометричен и количествен емисионно-спектрален метод.

Минераложките изследвания включват макроскопско и микроскопско описание на образци и препаратите в отразена светлина, рентгеноструктурен и рентгеноспектрален анализ. За получените геохимични данни са изчислени статистическите параметри по

елементи (средно, стандартно отклонение), построени са моноелементни карти и изометрични изображения, изчислени са корелационните съотношения и пробите са класифицирани по близост между елементите посредством клъстер-анализ (R-метод). За всяка от получените групи са изчислени статистическите параметри по елементи,



Фиг. 1. Блок-схема на пакета програми, чрез които са реализирани изчислителните операции и графичните изображения

Fig. 1. Block diagram of the programs through which the calculation and the graphics are realized

построени са карти на разпространение на клъстерите чрез KRIGING-метод, елементите са групирани по близост чрез клъстер-анализ (Q-метод), изчислена е площната продуктивност по областта на разпространение на всеки един клъстер и са намерени оптималните съотношения на тези продуктивности при различни комбинации от клъстери.

Изчислителните операции и построяването на графичните изображения са извършени на 16-битов персонален компютър с помощта на специално разработен пакет програми, блок-схемата на който е показана на фиг. 1.

Минералого-геохимични особености на рудно тяло № 6

Обект на изследване е рудно тяло № 6, което по своите минералого-геохимични особености е типично за находище Челопеч. То се намира в централната част на находището и морфологията му е близка до изометричната. Разкрито е на три нива (405, 455 и 465 m). Основното количество проби е съсредоточено на хор. 455 (n=120 проби), поради което интерпретация на данните е извършена предимно за този хоризонт.

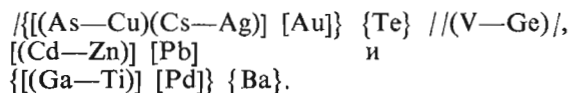
В рудното тяло са представени главно минерали на халкопирит-тенантит-пиритовата и галенит-сфалерит-халкопиритовата парагенеза. Съществено е количеството на барита, който се локализира в централната част на тялото. Главните минерали са халкопирит (с Zn до 0,11 мас. %), Zn — тенантит (с Zn до 9 мас. % и Fe до 2 мас. %), пирит (с Cu до 2 мас. %) и барит (с Sr до 4 мас. %). Второстепенни минерали са борнит, енаргит (със съдържание на Fe до 1,34 мас. %), Se — галенит (Se до 1 мас. %) и сфалерит (със съдържание на Cd до около 3 мас. %), а редките минерали са представени от Zn — тетраедрит (Zn — около 6 мас. %, As — до 2 мас. %, и Fe — до 1 мас. %), злато (с Ag до 8 мас. %), клаусталит и циркон (с Hf — до 2 мас. %).

Химичните елементи, изграждащи рудното тяло, се разделят на: промишлени, потенциално промишлени и примеси. Промислени елементи са Cu, Au и S. Потен-

циално промишлените елементи са: тези със средно съдържание над 100 условни единици (Zn, Ti, Pb, Ba, Sr) и благородните елементи (Ag, Au и Pd) със средно съдържание между 0,1 и 10 условни единици. Елементите-примеси са със съдържание между 10 и 100 условни единици (Co, V, Ga, Te, Rb, Cs, Bi, Sb) или между 1 и 10 условни единици (Cd, Ge и Sn). Арсенът е вреден компонент в рудите и е със съдържание над 1000 условни единици. Статистически параметри на изброените елементи са отразени в табл. 1.

Асоциации на химичните елементи и връзката им с минералните асоциации

При групиране на изследваните химични елементи в рудно тяло № 6 (клъстер-анализ, Q-метод) се обособяват два вида елементни асоциации: устойчиви и неустойчиви. Устойчивите елементни асоциации определят постоянство на химичните връзки в цялото рудно тяло, а неустойчивите се появяват само в някои от сеченията. В рудното тяло се обособяват следните главни устойчиви елементни асоциации с различна сила на връзката¹:



Първата от тях характеризира халкопирит-тенантит-енаргитовата минерализация. Съотношението между Cu-сулфиди и Cu-As-сулфосоли в рудното тяло, получено на базата на отношението Cu/As, е приблизително 1:1. Най-силни са линейните корелационни връзки между As—Cu, V—Ge и Cd—Zn. Първата от тях се дължи на медно-арсеновите сулфосоли (тенантит, енаргит и лузонит). С тях пространствено асоциират и минералите, носители на Au, Ag и Te (злато, електрум, телур, тетрадимит, телурбисмутит, костовит, нагиагит, силванит, алтаит, колорадоит и др.). В горните части на рудното тяло (хор. 465) последните три елемента асоциират с Pb, което може да се дължи на наличието на това място на оловни телуриди (алтаит, нагиагит и др.). Елементната асоциация V — Ge се дължи на колусит, както и на пространствената корелация на некрасовит, рениерит и др.

Втората елементна асоциация е свързана с полиметалната минерализация. Елементната асоциация (Cd—Zn) е резултат на наличието на определено количество Cd в сфалерита, а връзката и с Pb е резултат на пространствената асоциация между сфалерита и галенита. Липсата на Ag в елементната асоциация показва, че този елемент асоциира с медната минерализация под формата на различни минерали: електрум, костовит, силванит, евкайрит и др.

Третата основна асоциация на елементи се свързва с минерали, характерни за вместиращите скали, включително и продуктите на хидротермалната промяна. Това се подчертава от отрицателните корелационни връзки на Ti, Pd, Ga и Sr с рудообразуващите елементи. Ti и Ba трябва да се свържат съответно с анатаза и барита. Независимо че е установено устойчиво присъствие на Sr в барита, не се установява корелация между Sr и Ba. Стронцият корелира както с халкофилни елементи (Bi, Co), така и с Rb. Това показва, че този елемент се съдържа не само в барита, а вероятно е характерен и за някои от минералите, получени при хидротермалната промяна. Формата на присъствие на Pd и Ga не е добре изяснена. Присъствието им в елементната асоциация предполага, че те също са свързани с продуктите на хидротермалната промяна.

Неустойчивите геохимични асоциации включват елементи, които имат малка изменчивост на съдържанията. Такива са Bi, Co, Rb, Cs, Sn и Sb. Ето защо корелационните връзки между тях са противоречиви. Минерали — носители на тези елементи, са намирани в находище Челопеч. Това са минералите михарит, айкинит, витихенит,

¹ Малките скоби ограничават елементи с най-силна корелационна връзка, а средните и големите скоби, както и наклонената черта — съответни връзки между групи елементи с по-слаба, но значима корелация.

Таблица 1

Природни типове геохимични полета в находище Чelopeч (рудно тяло № 6, хоризонт 455) и варианти на тяхното групиране с оглед оптимизиране

Table 1

Natural types geochemical fields in the Chelopech ore deposit (ore body No 6, level 455) and variances of their arrangement for the optimization of concent

Групи	Статистически параметри	Площ (усл. единици)	Химичен								
			Cu	Ag	Zn	Co	Cd	Au	Ge	Cs	Ti
Руда от обогатител-на фабрика Чelopeч	Средно	—	8,89	12,68	834,39	7,22	4,12	1,70	8,43	31,43	2078,37
	Станд. отклонение		3,25	7,86	235,22	3,94	4,12	0,73	5,56	4,57	301,02
Обща	Средно	1521	10,75	12,05	863,21	9,60	5,41	2,81	6,74	32,14	2843,33
	Станд. отклонение		16,16	10,87	1565,11	4,44	6,71	3,27	8,27	22,26	828,93
	Продуктивност		1635,08	1,83	131,29	1,46	0,82	0,43	1,03	4,89	432,47
Клъстер 1	Средно	172	8,98	10,96	572,09	5,7	6,68	3,99	11,56	28,00	2948,00
	Станд. отклонение		6,85	9,72	1087,13	2,08	6,30	2,82	13,75	12,07	959,26
	Продуктивност		154,46	0,19	9,84	0,10	0,12	0,07	0,2	0,48	50,71
Клъстер 2	Средно	321	39,41	25,41	588,80	14,32	4,57	6,05	8,35	61,57	1912,86
	Станд. отклонение		31,49	15,72	315,67	4,81	3,83	4,54	4,78	38,76	332,97
	Продуктивност		1265,06	0,82	18,90	0,46	0,15	0,19	0,27	1,98	61,40
Клъстер 3	Средно	394	8,00	12,59	265,12	10,34	2,34	2,35	6,78	34,90	2634,84
	Станд. отклонение		3,61	9,44	209,39	4,91	3,51	2,61	5,34	21,90	502,26
	Продуктивност		315,90	0,50	10,45	0,41	0,01	0,01	0,27	1,38	103,81
Клъстер 4	Средно	—	3,76	11,25	4648,64	11,27	11,64	0,74	6,75	31,82	2597,73
	Станд. отклонение		4,95	8,44	2781,74	2,46	7,24	1,12	12,56	7,51	464,35
Клъстер 5	Средно	634	5,95	7,64	552,32	8,98	5,60	2,07	3,48	22,34	3278,64
	Станд. отклонение		8,87	7,15	562,35	3,36	8,00	3,08	3,08	10,87	820,79
	Продуктивност		377,23	0,48	35,02	0,57	0,36	0,13	0,22	1,42	207,87
Клъстер 1+3+5	Средно	1200	7,64	10,36	460,18	8,34	4,87	2,80	7,27	28,41	293,83
	Продуктивност		846,89	1,17	55,30	1,07	0,56	0,29	0,69	3,27	362,39
	% от цялото		40,10	58,85	74,53	70,01	79,27	0,16	71,94	62,35	85,51
Клъстер 1+2	Средно	493	24,20	18,14	580,80	10,01	5,63	5,02	9,96	44,79	2430,43
	Продуктивност		1419,52	1,00	28,74	0,56	0,26	0,26	0,47	2,46	112,11
	% от цялото		67,21	50,58	38,73	36,38	36,95	54,00	48,90	46,83	26,45
Клъстер 3+5	Средно	1028	6,98	10,12	408,72	9,66	3,97	2,21	5,13	28,62	2956,74
	Продуктивност		692,43	0,98	45,46	0,98	0,45	0,22	0,48	2,79	311,68
	% от цялото		32,79	49,42	61,27	63,62	63,05	46,00	51,10	53,17	73,55
Клъстер 1+5	Средно	806	7,47	9,25	562,21	7,34	6,14	3,03	7,52	25,17	3113,32
	Продуктивност		531,69	0,68	44,86	0,67	0,47	0,20	0,42	1,90	258,57
	% от цялото		25,18	34,44	60,45	43,48	66,29	41,08	43,98	36,16	61,01

Тип срудяване и минерален състав по групи:

Клъстер 1 — баритова зона с Cu-сулфидна минерализация и едроагрегатно злато;

Клъстер 2 — масивни руди от Cu-As-сулфосоли с дребноагрегатно злато и редки минерали на елементите, Sn, Te и Ge;

Клъстер 3 — впръслечни руди от Cu-As-сулфосоли;

Клъстер 4 — прожилки и жили от сфалерит и галенит;

Клъстер 5 — прожилково-впръснати руди от галенит, сфалерит, тетраедрит и барит.

Сп. на Българското геологическо д-во, кн. 3

В. Ковачев, С. Бакърджиев, Ч. Гюров, Д. Димов — Пространствена корелация между елементите в находище Чelopeч.

и съдържанията на вредните и полезните компоненти

tions of the pollutant and economic elements

състав (усл. единици)								n	Отношение Cu/As	Геохимични асоциации
Pb	V	Bi	As	Ba	Sn	Te	Sb			
1039,29	7,14	66,07	2337,50	81,29	0,89	19,29	54,11	15	3,80	
452,90	12,44	21,23	1155,99	49,93	1,47	9,96	65,81			
735,27	38,82	45,08	2146,13	3139,30	1,55	68,50	39,77	116	5,01	/{[(As—Cu)] [(Cs) {Ag} // (Au—Te) /— / (V—Ge) / ; {[(Bi—Co)] [Sr] {Rb} ; {[(Ga—Pd)] [Ti] } {Ba}, [(Pb—Cd)] [Zn] ;
868,10	55,29	53,81	2980,62	8881,94	5,91	230,75	67,47			
111,84	5,91	6,86	326,43	477,49	0,24	10,49	6,05			
487,63	55,43	5,48	1459,0	15710,00	2,03	26,41	21,75	19	6,15	/{[(V—Ge)] [Ga] } {Ag} // Cs /— / [(Au—Cu)] [Te] / ; [(Sb—As)] [Cd] ; / {[(Sn—Rb)] [Co] } {Sr} /Ti / ; [(Bi—Zn)] [Pb] ;
469,66	107,36	5,97	1346,44	17108,87	4,56	27,57	21,90			
8,39	0,95	0,09	25,10	270,21	0,04	0,45	0,37			
1033,04	68,57	112,89	8142,86	682,57	4,82	362,14	49,82	13	4,84	/ {[(As—Cu)] [(Cs—Au)] } {Ag} /Zn / ; [(Sb—Co)] [Ge] ;
622,88	72,39	58,82	5384,54	509,89	15,88	572,07	22,33			
33,16	2,20	3,62	251,39	21,91	0,16	11,63	1,23			
412,50	32,18	42,92	2087,10	809,35	0,84	59,30	38,39	30	3,93	/ {[(Ga—Pd)] [Au] } {(As—Cu) // Sb / ; {(Cs—Ge) } {[(Cd—Ag)] [V] } {Zn} ; (Cr—Co) ;
260,44	30,23	49,43	754,30	737,75	1,70	145,23	28,17			
16,25	1,27	1,69	80,26	31,89	0,03	2,34	1,51			
1218,41	29,55	75,73	1072,27	746,36	1,00	18,25	27,73	10	3,51	/{[(Sn—V—Ge)] [As] } {Au} // Te /— / [(Ag—Cu)] [Ga] ;
506,58	15,08	69,05	1419,48	622,29	1,66	33,07	9,05			
855,11	27,22	35,22	844,20	499,55	0,93	13,02	48,75	44	6,73	[(V—Cu)(Cs) ; {[(Sn—Au)] [Te] } {Ge} // Cd / ; [(Ga—Ti)] [Pd] ; {(Bi—Co) } {[(Ba—Rb)] [Sr] ; {[(Pb—Ag)] [As] } {Zn} ;
1249,51	22,14	39,74	581,12	528,37	2,00	19,49	106,57			
54,21	1,73	2,23	56,06	31,67	0,06	0,83	3,09			
585,08	38,28	27,87	1460,10	5672,97	1,28	32,91	36,30	93	5,23	—
78,85	3,95	4,02	161,42	333,77	0,13	3,62	4,98			
70,40	64,20	52,58	88,18	93,84	45,04	23,72	80,16			
760,34	62,00	59,19	4800,93	8196,29	3,43	194,28	35,79	32	5,04	—
41,55	3,15	3,72	286,48	292,48	0,19	12,08	1,61			
37,09	51,30	48,65	67,76	82,13	67,38	79,26	25,86			
633,81	29,70	39,07	1400,65	654,45	0,89	36,16	43,57	74	4,78	—
70,47	2,99	3,92	116,32	63,56	0,09	3,16	4,60			
62,91	48,70	51,35	32,24	17,87	32,52	20,74	74,14			
671,37	41,33	70,35	1171,60	8104,78	1,48	19,72	35,25	63	6,38	—
62,60	2,68	2,33	81,15	301,90	0,09	1,28	3,47			
55,89	43,58	30,45	19,19	84,98	33,33	8,39	55,80			

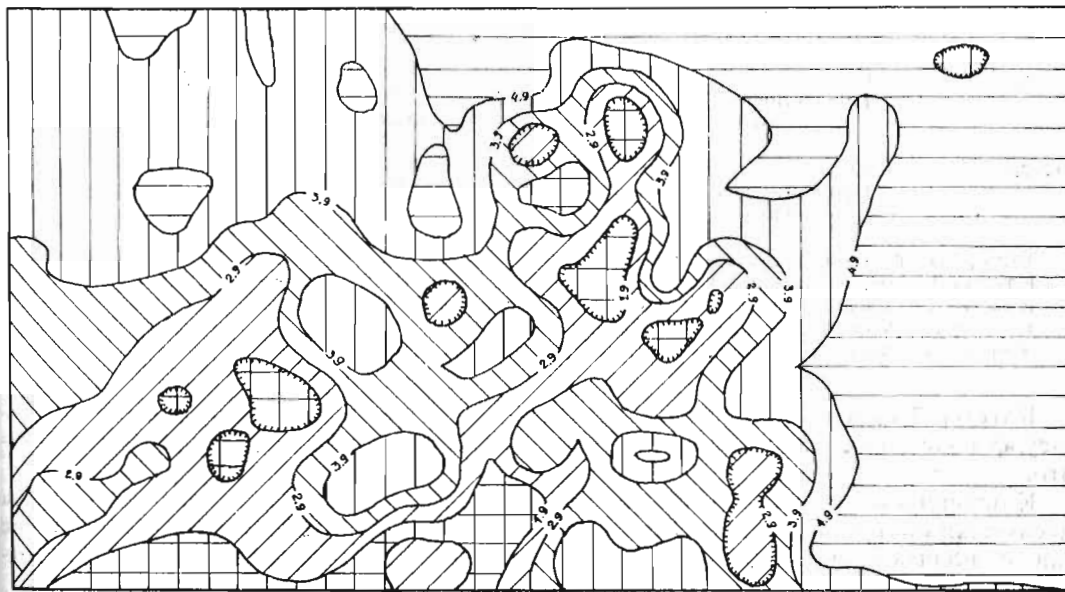
бисмутит, станин, хемусит, моусонит, Zn — тетраедрит (К о в а л е н к е р и др., 1986, П о п о в и др., 1989). Те се срещат сравнително рядко и с изключение на последния не са намерени в рудно тяло № 6.

Пространствено положение и съотношения на елементните и минералните асоциации

При групиране на пробите от хоризонт 455 по всички изследвани елементи (кълъстер-анализ, R-метод) се дефинират 5 кълъстера, имащи закономерно разположение в пространството. Те отговарят на реално съществуващи и обособени в пространството природни рудни типове (табл. 1, фиг. 2).

Кълъстер 1 се характеризира с широко развитие на барит и съпътстваща го медно-сулфидна и редкометална минерализация (максимални съдържания на Ge и Ba) и сравнително ниско съдържание на As. Пространствено този кълъстер се локализира в централната част на тялото и заема малка площ.

Вторият кълъстер е представен от масивно Cu-As-сулфосолно орудяване (халкопирит-тенантит-пиритовата парагенеза). В него попадат максималните съдържания на голяма част от промишлените, потенциално промишлените и елементите-примеси (Cu, Ag, Co, Au, Cs, V, Bi, As, Sn, Te и Sb). Кълъстер 2 образува концентрична зона около кълъстер 1 (баритовото ядро) и има сравнително малка площ. Кълъстер 1 и 2 маркират в план пространственото положение на масивния тип орудяване.



Фиг. 2. Пространствено разпространение на природните типове руди по цялата елементна съвкупност (21 елемента) на хоризонт 455, рудно тяло № 6. Машаб 1:1000: 1 — разпространение на кълъстер 1; 2 — разпространение на кълъстер 2; 3 — разпространение на кълъстер 3; 4 — разпространение на кълъстер 4; 5 — разпространение на кълъстер 5

Fig. 2. Areal distribution of the natural ore types on the base of 21 elements studied on level 455, ore body No 6: 1 — distribution of cluster 1; 2 — distribution of cluster 2; 3 — distribution of cluster 3; 4 — distribution of cluster 4; 5 — distribution of cluster 5

Таблица 2

Природни типове геохимични полета в находище Челопеч (рудно тяло № 6, хоризонт 455, седем и полезните компоненти)

Table 2

Natural types geochemical fields in the Chelopech ore deposit (ore body No 6, level 455, 7 elements quotation)

Група	Статистически параметри	Площ усл. един.	Химически състав			
			Cu	Ag	Zn	Au
Общ	Средно	2290	10,75	12,05	863,21	2,81
	Продуктивност		2461,75	2,76	197,68	0,64
Клъстер 1	Средно	895	7,11	9,06	502,13	3,42
	Станд. отклонение		6,75	9,05	940,64	3,09
	Продуктивност		636,35	0,81	44,93	0,31
Клъстер 2	Средно	955	15,39	13,72	347,11	3,23
	Станд. отклонение		20,78	12,30	284,31	3,56
	Продуктивност		1465,75	1,31	33,15	0,31
Клъстер 3	Средно	360	3,48	9,99	3241,93	0,66
	Станд. отклонение		4,19	8,17	2825,34	0,96
	Продуктивност		125,28	0,36	116,71	0,02
Клъстер 4	Средно	80	6,26	13,14	780,95	2,57
	Станд. отклонение		5,25	9,41	700,56	3,29
	Продуктивност		50,08	0,11	6,25	0,02
Клъстер 1+3+4	Средно	1335	5,62	10,73	1508,34	2,22
	Продуктивност		750,27	1,43	201,36	0,30
	% от цялото		30,48	51,81	101,86	46,87
Клъстер 3+4	Средно	440	4,87	11,57	2011,44	1,61
	Продуктивност		214,28	0,51	88,50	0,07
	% от цялото		8,70	18,48	44,77	10,94

Тип орудяване и минерален състав по групи:

Клъстер 1 — баритова зона с Cu-сулфидна минерализация и едроагрегатно злато;

Клъстер 2 — масивни руди от Cu-As-сулфосоли и дребноагрегатно злато;

Клъстер 3 — жили и жилки предимно от сфалерит;

Клъстер 4 — жилки и впръслещи от галенит, сфалерит и злато.

Клъстер 3 определя разсеяната медна минерализация, изградена главно от Cu-As-сулфосоли. Той заема сравнително голяма площ около централната част на тялото.

Клъстери 4 и 5 характеризират полиметалната минерализация. Клъстер 4 съдържа максимални съдържания на Zn, Pb и Cd и бележи разпространението на по-масивните зони с полиметална минерализация, а клъстер 5 — разсеяната полиметална минерализация.

Описаното разпространение на елементите и минералните асоциации показва концентрично устройство на рудното тяло. Ядрото е изградено от баритово тяло с преобладаваща Cu-сулфидна минерализация. Около това ядро се обособяват: Cu-As-сулфосолна масивна зона, носителка на редки елементи, Cu-As-сулфосолна впръслечна зона, Pb-Zn-масивна зона и Pb-Zn-впръслечна зона. Морфологията на отделните зони дава основание да се предположи, че рудното тяло представлява руден стълб, резултат от пресичането на СИ (азимут 30—40°) и СЗ (азимут 50—160°) разломи.

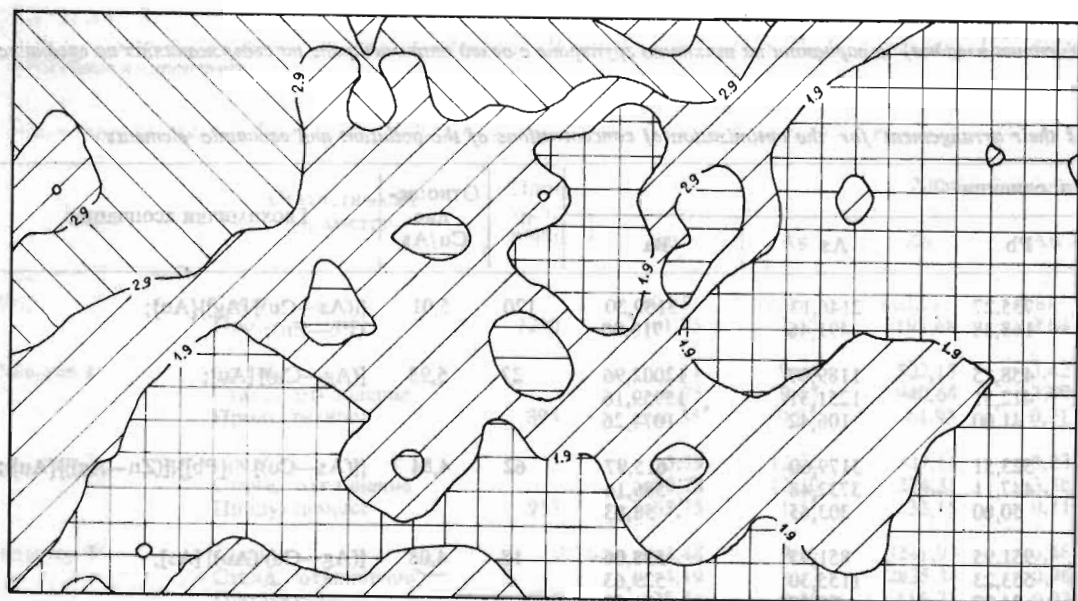
Изучаването на извадка от 7 елемента (Cu, Ag, Zn, Au, Pb, As и Ba) на същия хоризонт (табл. 2, фиг. 3) показва, че има сходство с получените данни за цялата елементна съвкупност. Подборът на тези елементи е направен по стойността на стандартното

елементна извадка) и варианти на тяхното групиране с оглед оптимизиране на съдържанията на вредните

and their arrangement for the optimization of concentrations of the pollutant and economic elements

усл. единици			n	Отноше- ние Cu/As	Геохимични асоциации
Pb	As	Ba			
735,27 168,38	2146,13 491,46	3139,30 718,90	120	5,01	{{(As—Cu) [Ag] } {Au}; (Pb—Zn);
458,15 412,51 41,00	1189,07 1251,31 106,42	12002,96 15959,16 1074,26	27	5,98	[(Ag—Cu) [Au];
523,51 447,11 50,00	3179,60 3732,48 303,65	615,97 586,14 58,83	62	4,84	{{(As—Cu) [Pb] } {{(Zn—Ag) } {Au};
951,95 553,23 34,27	851,95 1155,30 30,67	598,06 529,63 21,53	18	4,08	[(Ag—Cu) (Au)] [As];
2020,77 1841,10 16,17	996,92 690,50 7,98	283,15 374,14 2,27	13	6,28	(Au—Cu);
1143,62 152,67 90,67	1012,65 135,19 27,51	4294,72 573,35 79,75	58	5,55	—
1486,36 65,40 38,84	924,42 40,67 8,28	440,61 19,39 2,69	31	5,27	—

отклонение и типоморфизма им по отношение на минералните парагенези. Клъстерите 1 и 2 са съпоставими, като клъстер 3 от общата елементна съвкупност е включен към клъстер 2 от седемелементната извадка. Съответно клъстери 4 и 5 отговарят на клъстери 3 и 4 от седемелементната извадка. Морфологията на площите, принадлежащи на съответните клъстери, на съкратения брой елементи е значително по-проста, като подчертава СИ и СЗ направление на разломите, които контролират рудното тяло. Наред с това намаленият брой елементи намалява в определена степен детайлността на геохимичното поле и влошава селективността при разделянето на природните типове руди. Съществува и определена прилика между геохимичните асоциации в съответните клъстери (табл. 1 и 2). Заслужава да се отбележи корелационната връзка между Au и Cu в клъстер 2, 3 и 4 (табл. 2), което предполага наличие на златна минерализация и с полиметалния тип орудяване. Отбелязаните особености показват, че седемелементната асоциация може да бъде използвана с успех при типизирането на рудите в находище Челопеч, с което се облекчават аналитичните работи.



Фиг. 3. Пространствено разпространение на природните типове руди, определени въз основа на седм-елементна асоциация (Cu, Ag, Zn, Au, Pb, Ba и As) на хор. 455, рудно тяло № 6, М 1:1000: 1 — раз-пространение на кълъстер 1; 2 — разпространение на кълъстер 2; 3 — разпространение на кълъстер 3; 4 — раз-пространение на кълъстер 4

Fig. 3. Areal distribution of natural ore types defined by 7 elements association (Cu, Ag, Zn, Au, Pb, Ba and As) on level 455, ore body No 6. 1 — Distribution of cluster 1; 2 — Distribution of cluster 2; 3 — Distribution of cluster 3; 4 — Distribution of cluster 4

Върху възможността за селективен добив в рудно тяло №6 с цел намаляване съдържанието на As

Обособените кълъстери на хор. 455 дават възможност да се правят различни комбинации между тях с цел оптимизиране отношенията между арсена и полезните компоненти. Съдържанията на различни елементи в рудно тяло № 6 са съпоставими с получените стойности за рудата, постъпваща от различни рудни тела в продължение на един месец в Обогатителна фабрика Челопеч (табл. 1), поради което направените изводи за рудно тяло № 6 са представителни за цялото находище.

Възможните комбинации между отделните кълъстери на хор. 455 са показани на табл. 1 и 2. При елиминиране само на кълъстер 2 се получава определен оптимум по отношение на As, чието съдържание е равно на 0,16 мас. %. След обогатяването се очаква то да бъде с 50% по-малко от средното за концентрата от находището (0,33 мас. %), а новополученото тяло съдържа 40% от Cu и 60% от Au (табл. 1). Отношението Cu/As е 5,6, което показва, че около 50% от Cu не е свързана под формата на Cu-As-сулфосоли.

В същата таблица са показани и други възможни комбинации между кълъстерите, при които може да се намали още съдържанието на As, но за сметка на намаляването и на другите полезни компоненти. Като най-благоприятна комбинация по отношение на съдържанието на As е комбинацията от кълъстери 1 и 5. От това следва, че при селективен добив може значително да се намали съдържанието на As в рудите, подавани за

обогатяване, а богатите на As, Cu и Au руди да се съхраняват до въвеждане на технология за оползотворяването им без екологически вредни последици.

За въвеждането на този подход при експлоатацията на рудите от находище Челопеч не са необходими капитални вложения или съществена промяна на технологията на добив, обогатяване и металургична преработка. Необходимо е само да се осигури аналитична апаратура за анализи освен на елементите S, Cu, Au, Ag, още на As, Pb, Ba и Zn.

Изводи

1. Използуването на оптимален набор от елементи и ЕИМ процедури дава възможност да се установи пространственото положение на отделните минерални парагенези въз основа на типоморфни за тях химически елементи.

2. В рудно тяло № 6 от находище Челопеч са установявани устойчиви елементни асоциации, по-важни от които са Cu—As, Pb—Zn—Cd, V—Ge—Cu и др., които определят пространственото положение съответно на Cu-As-сулфосолната, полиметалната и редкометалните минерализации.

3. Рудните тела (в частност рудно тяло № 6) притежават концентрична зоналност. Ядрото е изградено от барит и Cu-сулфидна минерализация със злато. Около него са развити зони от масивно Cu-As-сулфосолно орудяване, Cu-As-сулфосолна впръсната минерализация, Pb-Zn-Ag-масивна минерализация и накрая Pb-Zn-впръсната минерализация. Морфологията на рудното тяло дава основание да се предположи, че то е локализирано на пресечницата на две разломни структури съответно със СИ и СЗ направленията.

4. Установените особености в разпределението на елементните асоциации и минералните парагенези могат да послужат като основа за оптимизиране на добива чрез селективно добиване на бедни на As и следователно екологически по-безопасни руди. Разработената методика осигурява оперативно получаване на оптимални обеми за селективен добив без сериозни капитални вложения.

Благодарности: Имаме приятното задължение да благодарим на инж. Атанас Игнатов и инж. Ясмينا Иванова за извършеното от тях опробване на р. т. № 6 и на обогатителната фабрика „Челопеч“, благодарение на които бе възможно извършването на изследването.

Литература

- Коваленкер, В., Д. Цонев, В. Бресковска, В. Малов, Н. Тронева. 1986. Новые данные по минералогии медно колчеданных месторождений Центрального Среднегорья Болгарии. — В: *Метасоматизм, минералогия и вопросы генезиса золотых и серебряных месторождений*. М., Наука, 91—110.
- Ковачев, В. 1979. Първични геохимични ореоли в медно-рудното находище Челопеч. — *Год. ВМГИ*, XXV, II, 179—191.
- Моев, М., М. Антонов. 1976. Стратиграфии сенонских пород в Центральном Среднегорье. — *Докл. БАН*, 29, 10, 1515—1517.
- Мутафчиев, И., С. Чипчаклова. 1969. Хидротермални изменения на скалите от сенонския вулкано-генен комплекс при златно-медно-пиритното находище „Челопеч“, Пирдопско. — *Изв. Геол. инст., Сер. рудни и нерудни полезни изкопаеми*, 18, 125—142.
- Мутафчиев, Ив. 1970. Първичен ореол на разсейване на елементите в медно-златно-пиритното находище Челопеч, Пирдопско. — *Изв. НИГИ*, 4, 161—179.
- Попов, П., В. Ковачев, Д. Димов. 1989. Челопеченское рудное поле. — В: *Альпийский магматизм Среднегорья и Восточных Родоп и связанная с ним металлогения, Путеводитель экскурсии Е — 2, Карпато-Балканская геологическая ассоциация, XIV Конгресс*. С., 21—27.
- Терзиев, Г. 1966. О гипогенной зональности руд полиметаллического месторождения „Челопеч“ (Болгария). — *Геол. рудн. местор.*, 3, 37—48.
- Терзиев, Г. 1968. Минерален състав и генезис на рудното находище Челопеч. — *Изв. Геол. инст., Сер. геохим., минер. и петрогр.* XVII. 123—187.