

## Статистическа структура на медната минерализация в находище Студенец

А. Чобанова

Научноизследователски институт по полезни изкопаеми, 1505 София

*A. Chobanova — Statistical Structure of the Copper Mineralization in Studenec Deposit.* The heterogeneity of the copper mineralization is studied by means of the Rodionov's method to distinguish between geological objects according to mean contents and dispersions. The deposit is divided into twenty-five parts which are compared through a matrix, its members being the criterion of Rodionov and Verhovskaja:

$$V = \frac{1}{s^2} \sum_{i=1}^k [n_i(\bar{x}_i - \bar{x})^2 + 2(n_i - 1)(s_i - s)^2].$$

Three negative and two positive anomalies and a normal background are distinguished. They are differentiated into a northern zone of the normal background and a southern one of the anomalies. From statistical point of view the first one represents a generalized homogenous geological object while the second is composed of several homogenous objects. Two centres — conduits of the ore fluid are formulated which influence the character of the two zones. Their formation in most general plan is related to the mosaic pattern of the Klicač tectonic wedge and the internal location of the normal background, the anomalies and the two centres — to the part of joint systems and the distribution of vertical and oblique pegmatites and aplites.

The spatial location of the copper concentrations is the base for a classification of the deposit.

Разположено в западната част на Планския плутон, находище Студенец е вместено в Кликачкия клин, образуван от пресичането на Белоречки, Вучановдолски и Студенецки разлом (И г н а т о в с к и, непубликувани данни) (фиг. 1), сред амфибол-биотитов гранодиорит, на дълбочина преминаващ в адамелит и левкогранит (Б о я д ж и е в, 1971). Жилните скали на плутона са представени от аплити и пегматити с богата минерална асоциация (В е р г и л о в, 1955).

Настоящият анализ е част от системните изследвания на пространствените закономерности в разпределението на медната минерализация в някои медно-порфирни находища от Средногорската металогенна зона. Задачата е да се изследва структурата на медното орудяване. Чрез нея ще се направи типизация на находището за класификационни цели.

## Използвани данни

Фактическият материал, с който разполагаме, представлява химически анализи за мед от двадесет и пет сондажа. Използуваните проби са 3065, взети на разстояние средно през 3 м.

### Формулировка на задачата и избор на подходяща методика на решението ѝ

Целта на изследването е да се проследят закономерностите в пространственото разположение на медната минерализация в находището. Те са свързани с понятието статистическа структура, което значи взаиморазположение на концентрациите, анализирани чрез статистически методи. Казано с други думи, задачата е да се изследва структурата на явлението рудоотлагане в западната част на Планския плутон, а не последователността на процеса. Количествената характеристика на медната минерализация, представляваща най-характерното проявление на рудоотлагането, ще послужи за типизация на находището в смисъла на Бондаренко (1978).

Концентрациите на мед в пространството на Кликачкия клин се възприемат като случайно скаларно поле, от което следва изборът на подходяща методика. В същност става дума за поле на плътностите със стационарен характер, а не в състояние на развитие. Елементите на полето са концентрацииите на мед в различните му точки. Понеже функцията на точка е първична по отношение функцията на координати, то (полето) може да бъде разглеждано и без координатна система и да има смисъл като поле (Зендович, Мишкин, 1972). Затова задачата е пространствена. Оттук нататък, като говорим за находище Студенец, ще разбираме случайно скаларно поле на медните концентрации. Както беше споменато по-горе, разполагаме с химически анализи за мед от двадесет и пет сондажа. Една от възможностите за изследване е разделянето на полето на части, като за целта се използват сондажите. Всеки сондаж с информацията си за концентрациите на мед представлява част от случайното скаларно поле. Тя може да бъде еднороден или нееднороден геоложки обект, т. е. плътността на концентрациите да бъде еднаква или различна. При тази постановка на въпроса задачата добива следния вид. Да се докаже или отхвърли твърдението, че във всички части на находището медните концентрации са равномерно разпределени и се променят плавно. От положителния отговор следва предположението за сходство на процесите, предизвикващи тези концентрации, т. е. единни източници и единен процес на разсейване. Методите на Родинон (1968) за разграничаване на еднородни геоложки обекти по комплекс от белези са най-подходящи за подобни случаи. В най-общи линии в тях се съпоставят средните ( $\bar{x}_i$ ) и съответните дисперсии ( $s_i^2$ ) на локални участъци за оценка на еднородността, чрез което се характеризира интензитетът на рудообразователния процес.

Находището е разделено на двадесет и пет части по разположение на сондажите в пространството. Задачата е да се провери еднородността на медните концентрации във всички сондажи, като се допуснат две хипотези, а именно

$$H_0: (\bar{x}_1, s_1^2) = (\bar{x}_2, s_2^2) = \dots = (\bar{x}_k, s_k^2) = (\bar{x}_0, s_0^2)$$

и алтернативната

$$H_1: (\bar{x}_1, s_1^2) \neq (\bar{x}_2, s_2^2) \neq \dots \neq (\bar{x}_k, s_k^2) \neq (\bar{x}_0, s_0^2),$$

като  $k = 1, 2, \dots, 25$ .

Според нулевата хипотеза във всички части на полето на медните концентрации средните ( $\bar{x}_i$ ) и дисперсиите ( $s_i^2$ ) са еднакви от статистическа гледна точка. Тогава то представлява еднороден геоложки обект. Според алтернативната се формират зони с рязко повишени или понижени концентрации на мед по отношение на всеобщото равномерно разсейване, определено от средното съдържание на концентрациите за цялото находище и степента на разсейване около него. Първите зони са положителни и отрицателни аномалии, а площта на всеобщо разсейване е фон (Бондаренко, 1970; Боровко, 1971; Каптель-Каменщиков и др., 1971; Кербелов, 1979; Родионов, 1968; Родионов, 1971; Родионов и Верховская, 1971). Трябва да поясним, че под фон разбираме тази част от полето с плавно разпределение на концентрациите, а под аномалия — всяко отклонение от фона. Характерното е това, че фонът заема по-голяма площ и от статистическа гледна точка представлява обобщение на няколко еднородни геоложки обекта за разлика от аномалиите. За проверка на двете хипотези е подходящ критерий на Родионов и Верховская (1971) за разграничаване на  $k$  геоложки обекта (сондажи) по средни ( $\bar{x}_i$ ) и дисперсии ( $s_i^2$ ), а именно

$$V = \frac{1}{s^2} \sum_{i=1}^k [n_i(\bar{x}_i - \bar{x})^2 + 2(n_i - 1)(s_i - s)^2].$$

По същество чрез този критерий се прави сравнение между средната ( $\bar{x}_i$ ) на медните концентрации и дисперсията ( $s_i^2$ ) за цялото находище със същите параметри от отделните му части, фиксирани от сондажите. Когато  $V$  надвишава необходимото теоретично  $\chi^2 q/2$  ( $k-2$ ), където  $q$  е нивото на значимост, а  $2(k-2)$  са степените на свобода, понеже обектите са  $k$  и независимите параметри два —  $\bar{x}_i$  и  $s_i^2$ , тогава сравняваните обекти са нееднородни. За коректното прилагане на критерия е необходимо медта в сондажите да е разпределена приблизително нормално. Затова най-напред са изследвани законите за разпределение по критерий  $S_k/\sigma_{S_k} \leq 3$  и  $E_k/\sigma_{E_k} \leq 3$  (табл. 1). Асиметрични са извадките в сондажи 34, 5<sup>a</sup>, 38, 5, 45, 9 и 10. От нормалните извадки са изключени тези, които имат  $n_i < 100$ , за да се избегне влиянието му. Подреждането на сондажите в табл. 1 в низходящ ред е направено, за да се види дали средните ( $\bar{x}_i$ ) и дисперсиите ( $s_i^2$ ) са зависими помежду си. При първите четири сондажа с растенето на единия параметър расте и другият. Тези обстоятелства ни насочват и към критерий на Родионов и Бондаренко за разграничаване на два геоложки обекта по средни ( $\bar{x}_i$ ) и дисперсии ( $s_i^2$ ), а именно

$$W = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} - \frac{(s_1^2 - s_2^2)^2}{\frac{2s_1^4}{n_1 - 1} + \frac{2s_2^4}{n_2 - 1}}.$$

В най-общ план отделянето на еднородни съвкупности по методиката на Родионов (1968) представлява изглаждане по части (Боровко, 1971). В полето на медната минерализация границите се очертават по еднородните геоложки участъци и бележат скок в плътността на концентрациите.

Таблица 1

Резултати от изследване нормалността на медните концентрации

№	Сонд.	$s^2$	$s$	$S_k$	$E_k$	$\sigma_{S_k}$	$\sigma_{E_k}$	$S_k/\sigma_{S_k}$	$E_k/\sigma_{E_k}$	$n$
1	39*	3,89	1,97	0,015	-0,677	0,333	0,590	0,0459	1,14	57
2	28	2,56	1,60	0,737	0,814	0,250	0,486	2,93	1,67	90
3	31	2,31	1,52	0,192	-0,263	0,237	0,461	0,461	0,808	101
4	33	1,93	1,39	0,331	0,762	0,232	0,455	1,42	1,67	106
5	8	2,23	1,49	-0,299	0,083	0,173	0,110	-1,72	0,757	197
6	29	2,79	1,67	0,273	-0,480	0,292	0,550	0,934	-0,860	65
7	39 <sup>a</sup>	3,69	1,92	0,576	-0,614	0,193	0,388	2,98	-1,61	154
8	34	2,00	1,91	0,838	-1,25	0,232	0,450	3,60	-2,79	107
9	5 <sup>a</sup>	2,52	1,58	0,338	-1,51	0,092	0,570	3,66	-0,906	62
10	17	5,88	2,42	0,499	-0,626	0,183	0,359	2,71	-1,74	174
11	16	3,07	1,75	0,636	-0,202	0,329	0,621	1,93	-0,325	50
12	38	3,30	1,81	1,34	2,58	0,222	0,428	6,03	6,02	119
13	42	2,40	1,34	0,59	0,503	0,206	0,404	2,85	1,24	216
14	4	4,82	2,19	0,230	0,579	0,178	0,350	1,28	1,65	184
15	30	2,95	1,72	0,690	0,289	0,286	0,548	2,41	0,892	68
16	15	2,51	1,58	0,313	-0,0616	0,262	0,499	1,19	-0,892	82
17	14	2,91	1,70	0,592	-1,713	0,225	0,438	2,62	-3,90	113
18	41	4,54	2,13	0,537	-0,121	0,203	0,398	2,64	-0,306	140
19	9	4,01	2,00	-0,225	2,34	-0,205	0,396	-1,09	5,91	139
20	5	2,14	1,46	-1,526	2,95	0,173	0,338	8,80	7,26 <sup>1</sup>	196
21	6	4,84	2,20	0,535	-0,738	0,191	0,336	2,80	-2,07	167
22	3	1,55	1,24	0,708	0,267	0,253	0,472	2,79	0,565	96
23	27	2,47	1,57	0,471	0,205	0,197	0,386	2,39	0,530	149
24	45	1,64	1,28	1,42	5,63	0,210	0,409	6,75	13,7	132
25	10	0,78	0,88	2,66	11,8	0,237	0,461	11,2	25,7	101

\* Сондажите са подредени в низходяща редица по отношение на  $\bar{x}_i$ .

Данните са предоставени от геолога Г. Пешев с аналитик Топузова.

## Резултати и обсъждането им

Те са представени на табл. 2 и 3. Първата е матрицата на критерий  $V$ . Елементите на стълбовете са критерият за всеки сондаж, сравнен с общото средно съдържание ( $\bar{x}$ ) на мед и общата дисперсия ( $s^2$ ). Редовете представляват обобщение на критерий  $V$  за всички сондажи. Те се редуцират вследствие по-

Таблица 2

Резултати от изследване еднородността на находището

Приета хипотеза	Брой на сравненияте у-ци	Проверка на еднородността			Значения на $V_i$		
		степени на свобода	$\chi^2_{0,05}$	$V_i$	$V_{17}^*$	$V_e$	$V_e$
$H_0: H_1^1$	12	20	31,40	127,17	30,56	10,48	11,03
$H_0: H_1^2$	11	18	28,90	89,61		17,36	14,94
$H_0: H_1^3$	10	16	26,44	83,89			35,18
$H_0: H_1^4$	9	14	23,70	100,87			
$H_0: H_1^5$	8	12	21,00	29,16			
$H_0: H_1^6$	7	10	18,30	7,42			

\* Номер на сравнявания сондаж.

следователното изключване на сондажите с най-високо  $V$ . Така че всеки ред представлява проверка на двете допуснати хипотези с намаляване броя на сравнените участъци. Експериментът продължава, докато общото  $V > \chi_{0,05}^2$ . От сравнените дванадесет участъка седем образуват обобщен еднороден геоложки обект (фиг. 1). В него влизат всички участъци със сходни средни концентрации ( $x_i$ ) и дисперсии ( $s_i^2$ ). Те представляват последният ред на матрицата  $V$ . Последователното изключване на еднородните геоложки участъци личи ясно от празните квадратчета на стълбовете (табл. 3). Най-напред е изключен сондаж 17, после 6, 4, 41 и 39<sup>a</sup>, като последният е на границата. Еднородните геоложки участъци се характеризират с ниски и средни концентрации на мед, типични за находището, и големи дисперсии (табл. 1). Редът на изключването се определя от големината на дисперсиите ( $s_i^2$ ), отразяващи интензитета на рудообразователния процес. Затова са съставени две схеми (фиг. 1 и 2) — едната на еднородните геоложки участъци, а другата на закономерностите в разпределението на дисперсиите. Между тях има сходство. Обобщеният еднороден геоложки участък е равнозначен на северната зона с вариации на дисперсиите между 2 и 3 единици и център сондаж 39<sup>a</sup>, положителна аномалия със сравнително високи концентрации на мед и средни разсейвания около тях.

Южната зона се характеризира с вариации на дисперсиите между 5,88 и 0,78 и формирането на една положителна (сондаж 17) и три отрицателни аномалии (сондажи 4, 41 и 6). Център на орудяването е сондаж 17 на положителната аномалия със средни концентрации на мед и много висока степен на разсейване около тях. Тук разсейването на концентрациите е най-голямо, т. е. енергията на разпределението и преразпределението е най-висока.

Северната зона има нормален закон за разпределение на медните концентрации с  $S_k/\sigma_{S_k}=1,63$  и  $E_k/\sigma_{E_k}=-0,82$  и може да се възприеме като нормален фон около сондажи 39 и 39<sup>a</sup>, които са остатък от богатата част на рудното тяло. В южната зона са формирани участъци с нормален закон на разпределение с различни параметри.

Формирането на двете зони е доказателство за диференциране интензитета на рудообразователния процес. Орудяването е било съпътствувано от процеси на К-фелдшпатизация, серицитизация и окварцяване, предизвикали привнасяне и преразпределение на медните концентрации. В най-общ план двете зони могат генетично да се обосноват от мозаичния строеж на Кликачкия тектонски клин. Границата между тях е отражение на развитието на трите разлома на дълбочина. Вучановдолският разлом вероятно

асимптотически разпределени по закона на Пирсон

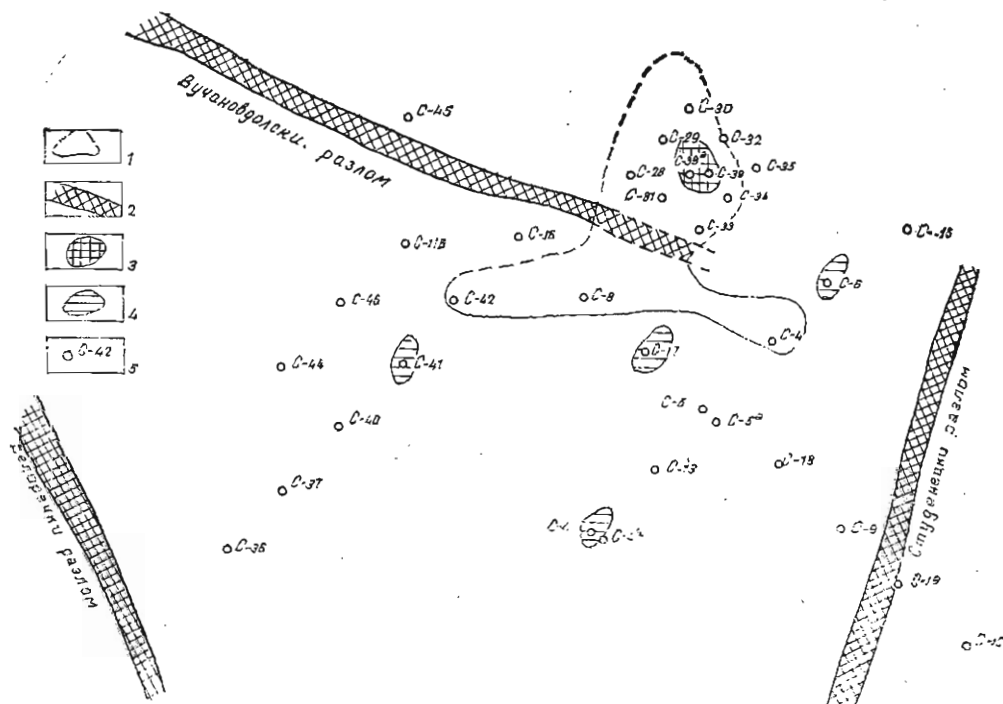
$V_1$	$V_{39^a}$	$V_{27}$	$V_{14}$	$V_{42}$	$V_{34}$	$V_8$	$V_{33}$	$V_{51}$
5,52	4,55	5,52	1,78	7,94	12,70	15,94	14,02	7,14
9,99	1,65	4,50	0,54	4,97	9,43	10,82	10,64	4,69
20,25	6,44	1,60	0,10	1,65	5,38	4,90	6,42	1,93
55,83	28,89	1,80	5,83	0,71	0,40	0,32	0,80	0,40
	19,34	2,38	4,81	1,15	0,02	0,68	0,12	0,64
		0,77	3,27	0,04	1,18	0,27	1,78	0,09

Таблица 3

Критерий на Родионов и Бондаренко (W)

№ по ред	Сравнявани сондажи	W
1	39/31	3,98
2	39/8	4,82
3	39/33	6,44
4	39/42	3,66
5	39/14	1,51
6	39/27	3,27
7	39/30	3,29
8	39/34	6,00
9	39/29	1,54
10	39/28	2,83
11	39/39 <sup>a</sup>	1,60

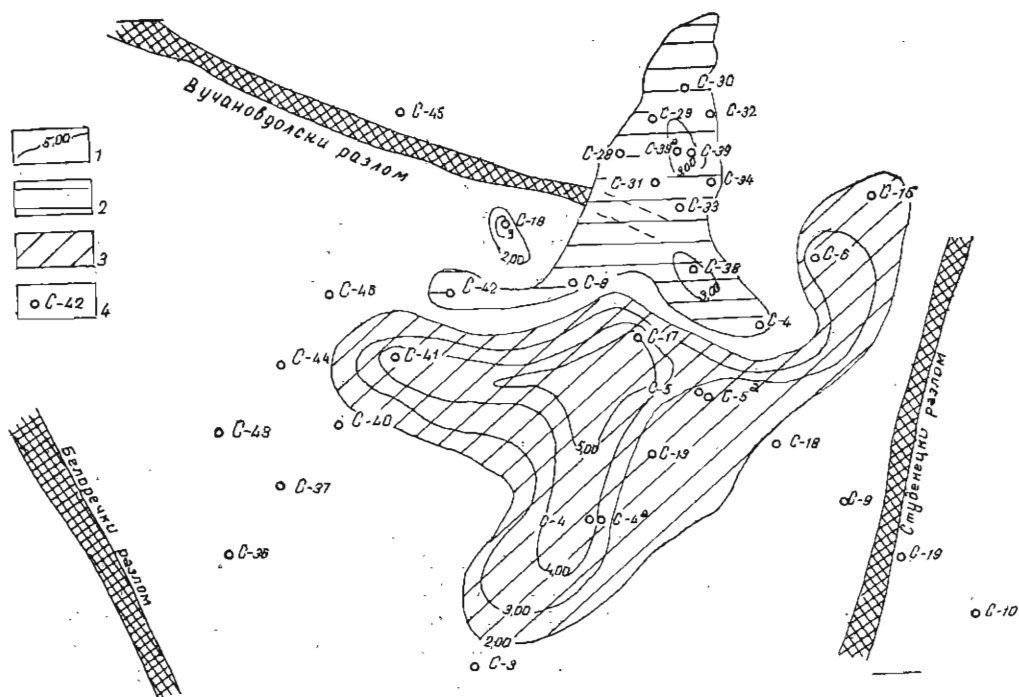
е бил главен фактор за формиране на северната зона с равномерно разпределение на медните концентрации, а Кликачките разломи, установени от И г н а т о в с к и (непубликувани данни) — подходяща среда за аномалиите. Най-добре изявена положителна аномалия е формирана около сондаж 39<sup>a</sup> в близост с пресичането им с Вучановдолски разлом. Разбира се, не трябва да се пренебрегва влиянието и на вместващата среда, представена преди всичко от порфирни амфибол-биотитови гранодиорити. Ако хвърлим поглед на структурната карта на Планския плутон по Д а б о в с к и (1975),



Фиг. 1. Схема на разположение на нормалния фон и аномалиите

1 — нормален фон (обобщен еднороден геоложки обект); 2 — положителна аномалия: център на концентрация на медната минерализация; 3 — положителна аномалия — център на деконцентрация на медната минерализация; 4 — отрицателни аномалии; 5 — сондаж

виждаме, че в района на находището са отбелязани в изобилие стръмни и полегати пегматити и аплити, които са представлявали също фактор за вътрешното разпределение на медните минерализации. В този смисъл може да се възприеме и влиянието на пукнатинните системи.



Фиг. 2. Схема на разпределението на дисперсиите

1 — изолинии по значение на дисперсиите; 2 — северна зона с равномерно разсейване на медните концентрации; 3 — южна зона с неравномерно разсейване на медните концентрации; 4 — сондаж

Казано в резюмиран вид, образуването на двете зони свързваме с мозаичния строеж на Кликачкия тектонски клин, а вътрешното разположение на еднородните геоложки обекти, формиращи във фон или аномалии, с ролята на пукнатинните системи, разположението на вертикалните и косите пегматити и аплити. В същност става дума съответно за диференциране на рудогенни фактори по степен на влияние като фактори от първи и втори ранг.

Представената картина не би била пълна, ако не се разгледа оста на медната минерализация. Двата центъра, съответстващи на двете положителни аномалии, се различават значително. Около сондаж 17 енергията на разсейване, отразена в дисперсията  $s^2=5,88$ , е най-голяма, докато около сондаж 39<sup>a</sup> — средна с  $s^2=3,86$ . Северният център по статистическа характеристика е най-близък до обобщения еднороден участък, докато южният е една рязко изразена аномалия. Затова е направено сравнение на сондаж 39<sup>a</sup> с всички сондажи от обобщения еднороден геоложки участък, за да се установи дали принадлежи към него. Както беше обяснено в предишния раздел, подходящ критерий за случая е на Родионов и Бондаренко за разграничаване на два геоложки обекта по средни съдържания ( $\bar{x}_i$ ) и дисперсии ( $s_i^2$ ). На табл. 3 е даден резултатът от сравняването на сондаж 39<sup>a</sup> със сондаж 39 и всички сондажи от обобщения еднороден геоложки участък.

Допустимото теоретично значение на  $\chi_{0,05/2}^2 = 5,99$  показва, че статистика  $W$  го надвишава при сондажи 33 и 34. Отклоненията са сравнително малки и няма да бъдат взети пред вид. От това допълнително изследване е ясно, че този център — положителна аномалия, не се отличава статистически от обобщения еднороден геоложки участък. Независимо от това го възприемаме като ос на находището, защото е с най-силно изразена концентрация на медната минерализация и сравнително средна степен на разсейване около нея. Следователно това е една осова зона със слабо контрастна граница с обобщения еднороден геоложки участък.

Казано обобщено, в находището се формират два центъра, чиято природа е повлияла върху формирането на двата участъка. Тези центрове могат да се възприемат като главни канали за движение на рудоносния флуид. Северният център е на концентрацията, а южният на деконцентрацията на медната минерализация (С а ф р о н о в и др., 1978). Оттук следва приемането на първия за ос на находището.

## Проблеми

Те произлизат от липсата на еднозначно съответствие между установените еднородни геоложки обекти и рудните тела. Конкретно въпросът се свежда до яснота в представите за фон, положителни, отрицателни, остатъчни аномалии от статистическа и геоложка гледна точка. Във връзка с това съществуват и проблеми, отнасящи се до ограниченията на приложените критерии. За решаването на тези въпроси от първостепенно значение е да се правят сравнения с аномалии, установени при крупни находища (Д у б о в, 1976). Поради липсата на подобни възможности задачата е ограничена в диференциране на отделни зони в зависимост от разпределението на медните концентрации в рамките на находището.

## Заклучение

Находище Студенец е типизирано чрез обобщения еднороден геоложки участък с център, който може да се приеме за ос, и участък на аномалиите с център с по-нисък ранг от първия. Тази информация дава възможност да се класифицира находището, защото „задачата на класификацията може да се разглежда като търсене на решения, позволяващи по най-добър начин да се разделят множество обекти, характеризирани от многомерни наблюдения на малки еднородни подгрупи“ (Р. М а к - К е м м о н, 1973).

## Л и т е р а т у р а

- Б о н д а р е н к о, В. Ю. 1970. *Статистические решения некоторых задач геологии*. М., Недра. 244 с.
- Б о н д а р е н к о, В. Н. 1978. *Сравнительный анализ геологических объектов с закономерной изменчивостью свойств*. М., Недра. 130 с.
- Б о р о в к о, Н. Н. 1971. *Статистический анализ пространственных геологических закономерностей*. Л., Недра. 170 с.
- Б о я д ж и е в, Ст. 1971. Петрология на Планския плутон. — *Изв. Геол. инст., сер. геол., минер. и петр.*, 20, 219—242.
- В е р г и л о в, В. 1955. Минерален състав и геохимия на пегматитите около с. Калково, Самоковско. — *Изв. Геол. инст.*, 3, 25—49.



- Д а б о в с к и, Х р. 1975. Структурни изследвания в Планския плутон. — *Геотект., тектонофиз. и геодин.*, 2, 53—63.
- Д у б о в, Р. И. 1976. Учет полезности и ранговая аппроксимация при классификации объектов, изображении и интерпретации геохимических полей. — В: *Математическая обработка данных в поисковой геохимии*. Новосибирск, 30—53.
- З е л д о в и ч, Я. Б., А. Д. Мишкис. 1972. *Элементи на приложната математика*. С., Техника. 666 с.
- К а п т е л ь - К а м е н щ и к о в, В. А., В. Г. Ростов, Г. С. Симкин. 1971. К вопросу об оконтуривании эндогенных геохимических ореолов с применением статистической теории однородности. — В: *Статистические методы геологических исследований*. М., ИМГРЭ, 4, 27—36.
- К е р б е л о в, Л. 1979. Метод за построяване двумерен линеен модел на фона за отделяне на аномалии при изучаване на непотенциални полета. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 40, 3, 303—307.
- М а к - К е м м о н, Р. 1973. Многомерные методы в геологии. — В: *Модели геологических процессов*. М., Мир. 150 с.
- Р о д и о н о в, Д. 1968. *Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков*. М., Недра. 158 с.
- Р о д и о н о в, Д. 1971. Обобщенная постановка задачи о выявлении и проверке геохимических аномалий. — В: *Статистические методы геологических исследований*. М., ИМГРЭ, 4, 3—9.
- Р о д и о н о в, Д., Л. А. Верховская. 1971. Алгоритм и программа для ЭВМ „Найри-2“ статистического метода выявления аномальных групп результатов геохимического опробования. — В: *Статистические методы геологических исследований*. М., ИМГРЭ, 4, 10—14.
- С а ф р о н о в, Н. И., С. С. Мещеряков, Н. П. Иванов. 1978. *Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых*. Л., Недра. 215 с.

(Постъпила на 20. VI. 1981 г.)