

ПРОСТРАНСТВЕНИ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА СЪДЪРЖАНИЯТА НА МЕД, ЗЛАТО И СРЕБРО В ЗИДАРОВСКОТО РУДНО ПОЛЕ – УЧАСТЪЦИ ЮРТА И КАНАРАТА

Калин Русков, Светлозар Бакърджиев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; rouskov@mgu.bg; zarcobak@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Зидаровското рудно поле е разположено на около 15-20 км южно от гр. Бургас. Районът е изграден предимно от сенонски вулканогенни, седиментни и интрузивни скали. Резултат от постмагматични хидротермални процеси са жилите със злато-медни и злато-полиметални руди. Рудната минерализация е развита в два участъка – Канарата в централната част (Cu-Au-Bi) и Юрта (Pb-Zn-Cu-Au) в север-северозападната част на рудното поле, като рудни жили по протежение на разломите. Зидаровското рудно поле представлява жилин тип находище с полиетапна минерализация. Представени са резултатите от геостатистическата обработка на проби от предварителното и детайлно проучване на находище Зидарово. Данните са обработени чрез тримерен вариограмен анализ на базата на експоненциален модел, който е използван за определяне на пространствената променливост на съдържанията на Au, Ag и Cu. С цел по-прецизното извеждане на вариограмните модели са използвани автоматизирани процедури, по метода на най-малките квадрати, за апроксимация на експерименталните вариограмни стойности. Оценено е пространственото разпределение на тези елементи. Първичните данни представляват съдържанията на трите разглеждани елемента в групови проби от всеки сондаж. За нуждите на модела е съставен цифров модел на релефа, който е използван като ограничителна повърхност за изключване на отнесените от ерозията части. Тъй пространствените характеристики по отделните типове вместващи скали не са анализирани, съставените тримерни модели имат приблизителен и обобщаващ характер.

THE SPATIAL CHARACTERISTICS IN DISTRIBUTIONS OF THE Cu, Au AND Ag CONTENTS FROM THE ZIDAROVO ORE FIELD – YURTA AND KANARATA SECTORS

Kalin Ruskov¹, Svetlozar Bakardjiev¹

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; e-mail: rouskov@mgu.bg; zarcobak@mgu.bg

ABSTRACT. The Zidarovo ore field is located 15-20 km south from Bourgas. Senonian volcanic, sedimentary and intrusive rocks are developed in this region. Results of the post magmatic hydrothermal process are veins with gold-copper and gold-polymetallic ores. The ore mineralization is developed in two sectors – Kanarata is in the central part (Cu-Au-Bi) and Yurta (Pb-Zn-Cu-Au) is in the N-NW part of the ore field as veins along the faults. The Zidarovo ore field represents a vein type deposit with multistage mineralization. Results from geostatistical processing of samples from the preliminary and detail exploration of Zidarovo deposit are discussed. The primary data represent element contents in composite samples from each drill. The data are processed by three dimensional variogram analyses based on exponential model used for determination of spatial variability of the data. For more precise determination of variogram models were used automatic routines of Least Squares method applied for approximation of experimental variogram values. The spatial distributions of the elements Au, Ag and Cu are evaluate. Digital terrain model is constructed for the modeling purposes and it is used as boundary to exclude eroded part. Because the spatial characteristics of rock types are not separately analyzed these models are proximal and generalized.

Въведение

Основната задача на това изследване е определянето на пространствените закономерности в разпределението на съдържанията на мед, злато и сребро в участъци Юрта и Канарата от Зидаровското рудно поле. За изявата на търсените особености в разпределението на рудните елементи са използвани съвременни статистически и геостатистически процедури.

Зидаровското рудно поле е разположено на около 25 км. южно от гр. Бургас, в землищата на селата Зидарово, Извор, Димчево и Крушенец. Образоването му се обуславя от развитието на Зидаровската вулcano-плутонична структура от централен тип, която за пръв път е спомената от Г. Станишева-Василева и Л. Василев (1972), и впоследствие подробно описана от Рашков и др. (1978), Попов (1981) и др. Резултат от постмагматичните хидротермални процеси е формирането на жилите със

злато-медни и злато-полиметални руди. Морфологията на рудните тела е доста сложна, тъй като освен по основните разломи промишлено орудяването е развито и на значително разстояние по оперяващите разломни нарушения. Наличието на многобройни апофизи придава на рудните тела характер на сложна по морфология орудена зона. В рудното поле са обособени две находища – Канарата в непосредствена близост до интрузива и Юрта, което заема северозападната част на рудното поле. Двете находища имат различен минерален състав – в Канарата преобладава медно-бисмутов тип орудяване, докато за находище Юрта са характерни медно-полиметални минерални асоциации със злато (Попов и др., 1993).

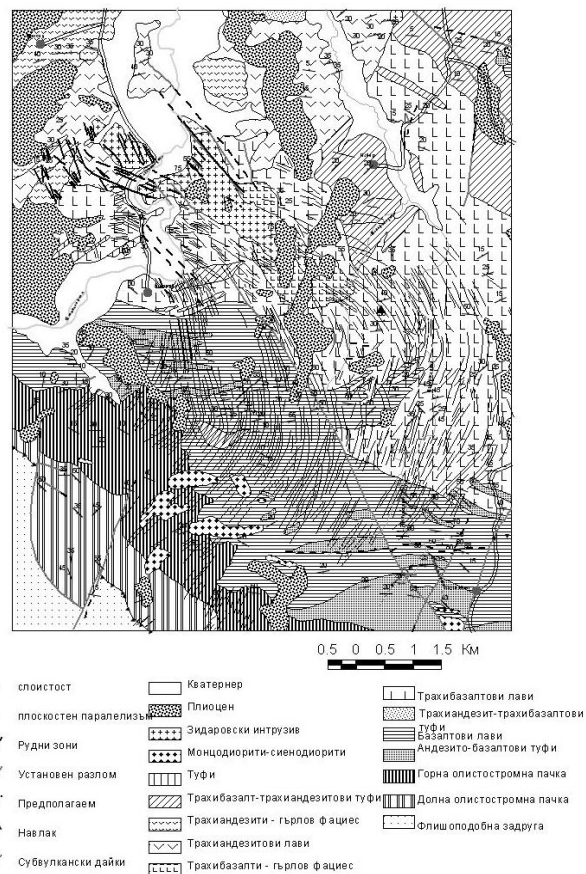
Попов (1980) отделя три етапи в развитието на горнокредната магмена дейност: ефузивен, субвулкански-дайков и хипоабисален-интрузивен, като отделените етапи отговарят на описаните от Рашков и др. (1978)

трахиандезито-трахибазалтов, базалт-трахибазалтов и габро-сиенитов етапи. По време на отделните етапи последователно се образуват Зидаровският вулкан, Зидаровският дайков пръстеновиден комплекс, като Попов (1980) го обозначава като рингова структура и Зидаровският интрузив, които се представят като отделни елементи от комплексната Зидаровска вулcano-плутонична структура.

Районът е изграден предимно от сенонски вулканогенни, седиментни и интрузивни скали (Фиг. 1). Вулканските скали на Зидаровската палеовулканска структура образуват комплекс с дебелина достигаща 2000–2500 m, който е представен от редуващи се лавови потоци и покрови с пирокластични материали (Попов, 1981). Лавовите скали преобладават в централните части на района в близост до предполагаемото гърло на вулкана, докато в периферията преобладаващи са пирокластичните скали. Рашков и др. (1978) отделят два етапа във формирането на вулканския комплекс – андезит-базалтов и трахиандезит-трахибазалтов. Вулканските скали са представени от трахибазалти, левкотрахибазалти, трахиандезити, латити и трахити, като преобладават по-базичните разновидности. На север скалите от разреза на Зидаровския вулкан се зацепват със скалите на Върлибрежкия, докато на североизток и изток с тези от Росенския вулкан (Попов и др., 1993). Субвулканският дайков комплекс е образуван след приключването на ефузивната дейност и бележи нов етап на развитие. Той е представен от многобройни дайки с доста разнообразен състав, образувани след приключването на активната дейност на Зидаровския вулкан и преди внедряването на Зидаровския интрузив. По-състав дайките са близки до ефузивните скали и са представени от трахибазалти до кварцови трахиандезити. Маринов и Байрактаров (1981) описват левцитови базанити, левцитови тефрити до фонотефрити, трахибазалти, мелатрахиандезити и кварцови трахиандезити. Зидаровският интрузив представлява удължено в север-западна посока тяло и в разкритата си част има размери 1,2x5 km. Интрузива има разкрития в централните части на рудното поле и е съставен от есексити, монцонити, монцодиорити и алкални кварцсъдържащи сиенити (Маринов, 1980). Най-голямо разпространение имат монцонитите и монцодиоритите. Местоположението и формата на интрузива маркират положението на магмопроводящия разлом, който контролира развитието на Зидаровската вулcano-плутонична структура (Попов, 1981).

По-долу в текста са описани отделните етапи в приложената методика на изследване. За изява на пространствените закономерности в разпределението на рудните елементи е използвана основно геостатистическата процедура на вариограмния анализ, докато приложените методи на едномерния статистически анализ са предназначени за предварителната обработка или “опознаването” на данните. В стандартния статистически анализ на данните е търсен вероятностния модел за описание на данните при първоначална хипотеза за логнормален закон. Методите на едномерния статистически анализ са приложени преди същинската геостатистическа обработка на данните и служат за описание на разпределението на разглежданите елементи.

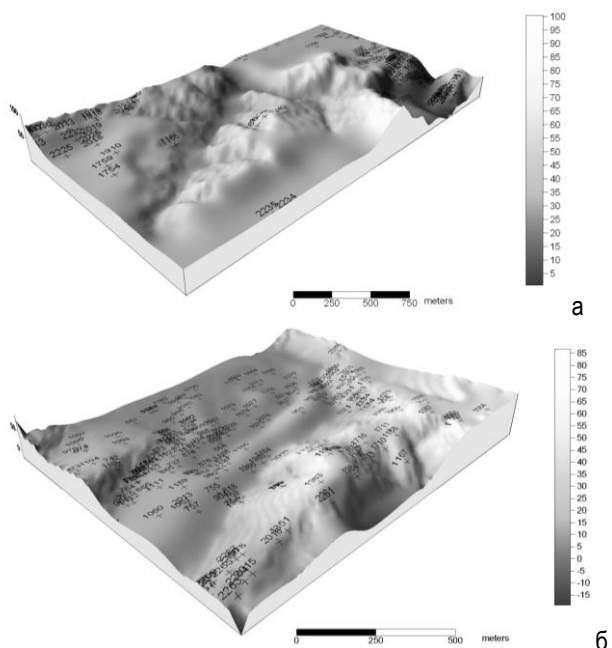
За нуждите на цялостната интерпретация на данните са определени корелационните зависимости между отделните двойки химични елементи, които са представени във вид на корелационни матрици. Всеки един от приложените анализи има характер на самостоятелно изследване, което обслужва различни геоложки задачи.



Фиг. 1. Геоложка карта Зидаровското рудно поле (по Рашков и др., 1978)

Данни използвани при анализите и предварителна обработка

Използвани са сондажни данни от предварителното и детайлното проучване на находище Зидарово. За участък Канарата са използвани общо 20222 секционни проби от 250 бр. наклонени сондажи, които са разположени в 59 проучвателни линии, при азимути 30-245° и наклони в границите 90-75°. Проучвателните линии са прокарани приблизително през 50 m. За участък Юрта броят на използваните за анализите секционни проби е 3457. Броят на използваните сондажи е 94, като са ориентирани по проучвателни линии в приблизителна мрежа 50x50 и са прокарани наклонено под ъгъл 75°. Също така, за характеризирание разпределението на съдържанията в рудна зона 50 на участък Юрта, са използвани данните от експлоатационното и проучване. Броят на тези данни е 957. Сондажите са опробвани по секционния метод, а в минните работи пробите са вземани от забоите, стените и таваните. В галериите забоите са опробвани при среден интервал 2,5 m.



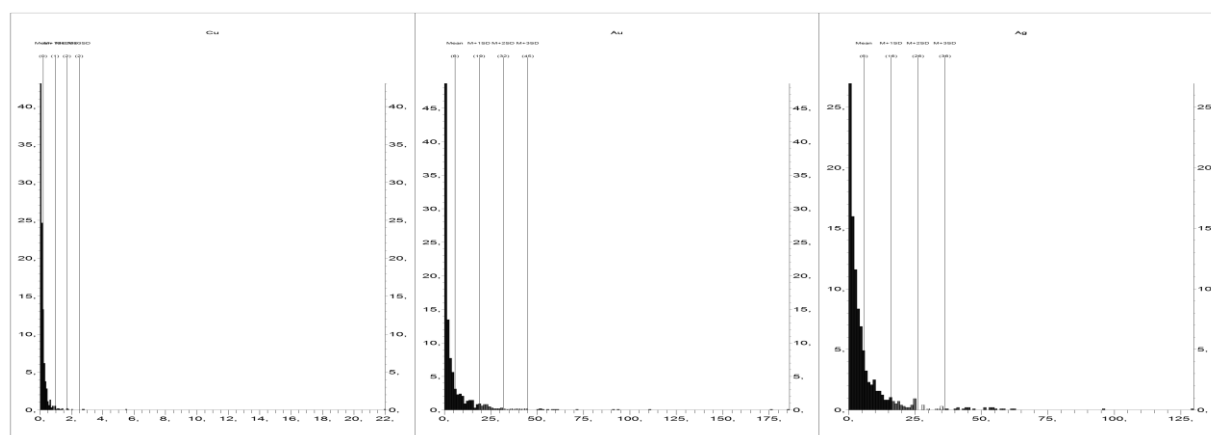
Фиг. 2. Дигитален модел на релефа на участъци: а – Юрта; б – Канарата, с означено местоположението на използваните сондажи

От таблиците със статистическите параметри (табл. 1) на разглежданите елементи е видно, че те се характеризират с много добре изразени положително-асиметрични разпределения, тъй като голямата част от данните са с ниски съдържания и само малка част от тях има измерени по-високи съдържания на съответния елемент (стойностите за медта са в мерни единици %, а за златото и среброто в ppm). Тази форма на разпределение е често срещана при геоложкото изследване на поведението на даден елемент. Асиметричното разпределение характеризира наличието на привнос или износ на дадения елемент (Попов, 2002). Наличието на положителна асиметрия в кривата на разпределение може да бъде интерпретирано като привнос на вещество от наложен рудообразователен процес, т.е. асиметрията може да бъде обяснена с наличието на голям брой нормални съдържания, които са характерни за съответния вид скала, и въздействието на допълнителен генетичен процес довел до повишение на съдържанията в някои от участъците (Попов, 2002). На фигура 3 са дадени хистограмите на елементите за рудна зона 50 на находище Юрта.

Създаден е и цифров модел на релефа, на който е показано местоположението на използваните сондажи (Фиг. 2). Той може да се ползва от геостатистическия модел като ограничителна повърхност за изключване на отнесените от ерозията части. Поради ниските съдържания на елементите и недостатъчната чувствителност на използвания емисионно-спектрален анализ, в част от пробите не е установено присъствието на някои елементи. В тези случаи, на тези проби са присвоени стойности равни на половината от долния праг на чувствителност на анализа за дадения елемент. Друг възможен подход е да бъдат присъдени стойност нула (т.е. няма съдържание на дадения елемент). Между двата варианта на заместване на практика не се получават съществени различия, тъй като и в двата случая приписваните стойности са ниски – от областта на минимума на разпределение за дадения елемент. Статистическите параметри са пресметнати поотделно за двата разглеждани участъка и за рудната зона от участък Юрта.

Корелационни зависимости между елементите

Тъй като пресмятането на коефициента на корелация представлява и един вид стандартизиране на данните, то този показател не се влияе от възможните различия в мерните единици или мащабността на сравняваните променливи. В таблици 2, 3 и 4 са представени корелационните матрици, характеризиращи взаимовръзките между всички възможни отделни двойки от химични елементи по изследваните площи (включени са и елементите олово и цинк). Най-високи са стойностите на коефициента на корелация между оловото и цинка, както и между среброто и медта, като стойностите на коефициента на корелация между тези двойки елементи са по-високи за участък Канарата. Участък Юрта се характеризира с по-високи стойности на корелацията между златото и медта и златото и среброто. В таблица 5 е показана корелационната матрица на елементите за рудна зона 50 на находище Юрта (най-висока е корелацията между златото и среброто – 0,622).



Фиг. 3. Хистограми по съдържанията на мед, злато и сребро за рудна зона 50 на находище Юрта

Таблица 1

Статистически параметри на данните от предварителното и детайлно проучване за участъците Канарата и Юрта, както и от експлоатационното проучване на участък Юрта

	Брой данни	Минимум	Максимум	Медиана	Средно аритметично	Стандартно отклонение	Дисперсия	Асиметрия	Ексцес
участък Канарата-Юрта									
Cu	23552	0.00005	14.340	0.00005	0.081	0.467	0.218	14.264	278.161
Ag	23550	0.5	190.000	0.5	0.790	3.491	12,187	31.504	1337.35
Au	23535	0.001	20.800	0.001	0.023	0.264	0.070	44.870	2697.32
участък Канарата									
Cu	20176	0.00005	14.340	0.00005	0.084	0.502	0.252	13.223	240.164
Ag	20175	0.5	190.000	0.5	0.809	3.7228	13.85	30.166	1205.20
Au	20175	0.001	12.400	0.001	0.018	0.201	0.070	40.403	2147.85
участък Юрта									
Cu	3446	0.00005	7.830	0.00005	0.008	0.142	0.020	49.487	2693.72
Ag	3445	0.5	43.000	0.5	0.676	1.463	2.143	14.400	291.677
Au	3420	0.001	20.800	0.001	0.056	0.492	0.242	31.625	1193.44
Участък Юрта – Рудна зона 50									
Cu	932	0.00005	22.000	0.100	0.194	0.766	0.587	24.614	688.53
Ag	900	0.005	185.000	2.7	5.836	10.152	103.06	4.83	36.11
Au	884	0.001	129.200	3.000	6.317	10.419	108.550	4.719	34.296

Таблица 2

Корелация между съдържанията на елементите – участък Канарата

	Pb	Zn	Cu	Ag	Au
Pb	1.000				
Zn	0.863	1.000			
Cu	0.073	0.045	1.000		
Ag	0.172	0.092	0.416	1.000	
Au	0.021	0.010	0.123	0.062	1.000

Таблица 5

Корелация между елементите – участък 50 (участък Юрта)

	Cu	Au	Ag
Cu	1.000		
Au	0.119	1.000	
Ag	0.235	0.622	1.000

Таблица 3

Корелация между съдържанията на елементите – участък Юрта

	Pb	Zn	Cu	Ag	Au
Pb	1.000				
Zn	0.511	1.000			
Cu	0.035	0.001	1.000		
Ag	0.571	0.560	0.360	1.000	
Au	0.193	0.044	0.058	0.199	1.000

Таблица 4

Корелация между съдържанията на елементите – участък Канарата-Юрта

	Pb	Zn	Cu	Ag	Au
Pb	1.000				
Zn	0.728	1.000			
Cu	0.066	0.031	1.000		
Ag	0.199	0.143	0.465	1.000	
Au	0.054	0.029	0.093	0.076	1.000

Вариограмен анализ

Целта на вариограмния анализ е изявата на закономерностите в пространствената променливост на изучавания геоложки показател (Matheron, 1967; Rendu, 1981). По дефиниция, стойността на вариограмата $2\gamma(h)$ се определя от зависимостта на средните разлики между стойностите на пробите спрямо разстоянията между тях.

Оценката $\hat{\gamma}(h)$ на полувариограмата $\gamma(h)$ е:

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [x(z_i) - x(z_i + h)]^2.$$

където $x(z_i) - x(z_i + h)$ са $n(h)$ на брой разлики между стойностите (съдържанията на полезен компонент), които са измерени в проби намиращи се на разстояние h помежду си в дадено направление.

Получените стойности за $\gamma(h)$ се нанасят на х-у диаграма, където по оста х се нанася разстоянието h , а стойностите на гама се нанасят на оста у. За целите на вариограмния анализ е използвана програмата UNCERT (Wingle et al., 1997), а апроксимацията на теоретичните модели е извършена както автоматизирано по метода на най-малките квадрати, така и ръчно за някои от избраните

направления. Важна особеност на вариограмния анализ е, че чрез него се отчитат като средно и естествени свойства на изследвания обект като анизотропия, характер и степен на зависимост между съседните проби като функция на разстоянията между тях, ниво на общата променливост, прекъснатост и др., които са характерни за изследвания обект. След като се пресметнат средните разлики в различни направления, представени от експерименталните вариограми, е необходимо да бъде избран подходящ теоретичен модел, който да бъде адекватен на съществуващата природната структура на променливостта в използваните данни.

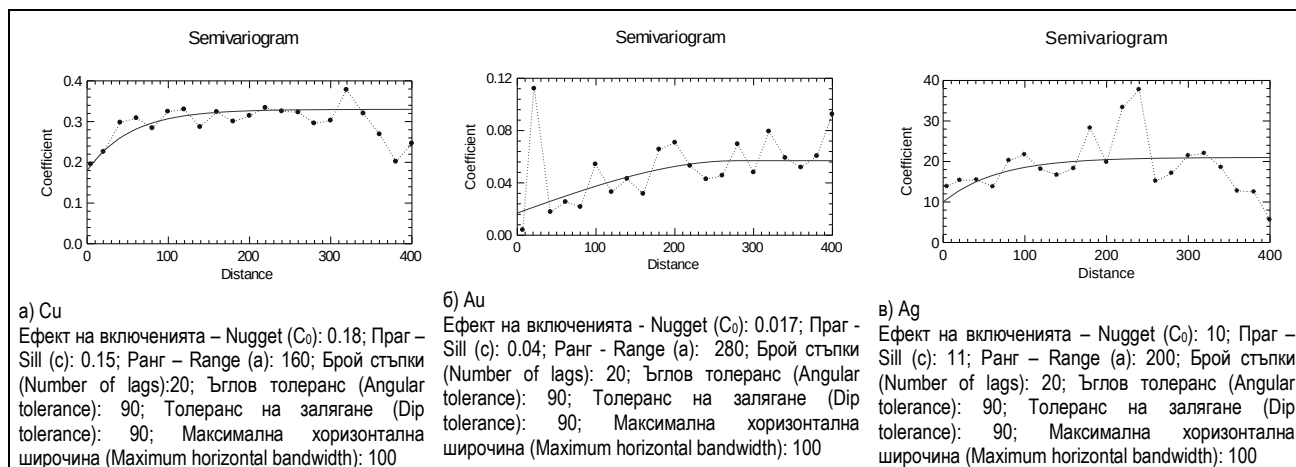
За нуждите на вариограмния анализ на данните от участъци Канарата и Юрта са пресметнати експерименталните вариограми в хоризонтално и в четири вертикални направления с азимут 0° , 45° , 90° и 135° . Пресметнати са общо 16 експериментални вариограми за всеки от разглежданите елементи, четири вариограми с азимут 0° , 45° , 90° и 135° в хоризонтално направление, както и по четири вариограми под наклони 0° , 45° , 90° и 135° за всяко от вертикалните направления. Вариограмите са пресмятани чрез тримерно търсене на съседни проби, при следните условия: разстояния между пробите от 20 до 400 m през стъпка 20 m, хоризонтална и вертикална ивица на търсене 100 m, хоризонтален и вертикален ъглов толеранс на търсене 22.5° . За апроксимация на експерименталните вариограми е избран експоненциален модел. Експоненциалният модел се характеризира чрез два параметъра C и a , където C е асимптотата на експоненциалната крива и може да бъде равен на прага,

докато a е разстоянието на което тангентата от началото на координатната система достига стойност C :

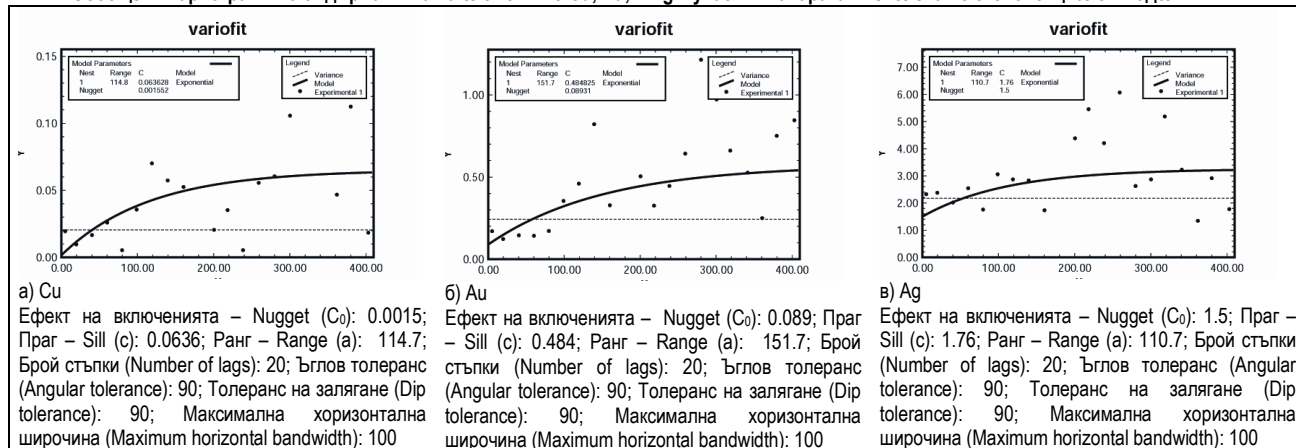
$$\gamma(h) = C(1 - e^{-h/a}).$$

Наклона на тангентата в началото на координатната система е C/a . На фигури 4 и 5 са дадени обобщените вариограми по съдържанията на Au, Cu, и Ag, както и параметрите на експоненциалния модел за всеки от тях. Установено е наличието на геометрична анизотропия, дължаща се на сложната морфология на орудяването, както и зонална анизотропия. Вариограмните модели по съдържанията в участък Юрта показват по-неравномерно изменение от тези за участък Канарата.

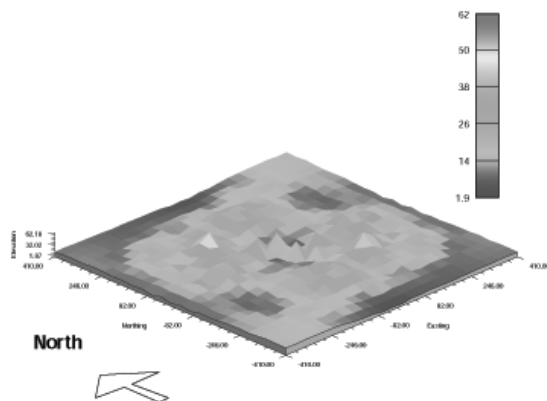
За да се анализира анизотропията в план са построени по 18 вариограми през стъпка 20° за всеки от изследваните елементи (half-angle solution), които характеризират пространствената променливост на тези елементи в разглежданите райони. На фигура 6 е дадена вариограмната структура в хоризонтално направление за съдържанията на сребро за участък Канарата, изведена от тези 18 вариограми, представена във вид на вариограмна повърхност. От вариограмната повърхност се вижда, че най-плавни са измененията в съдържанията в ЮЗ-СИ и Ю-И направление. За златото най-плавни са измененията в 3-И и СЗ-ЮИ направление (Фиг. 7). Вариограмната повърхност за съдържанията на медта е подобна на тази на среброто (Фиг. 8). Вариограмните структури, характеризиращи пространствената променливост на съдържанията в участък Юрта, показват сходни особености.



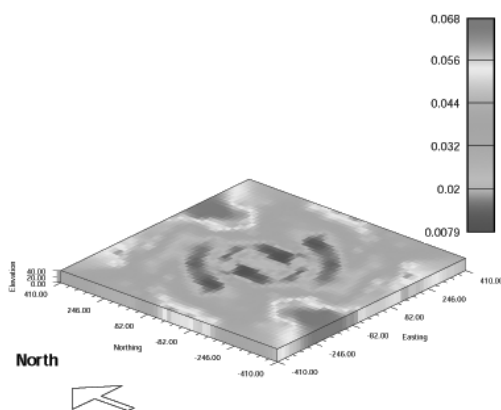
Фиг. 4. Обобщени вариограми по съдържанията на елементите Cu, Au, и Ag – участък Канарата. Използван е експоненциален модел.



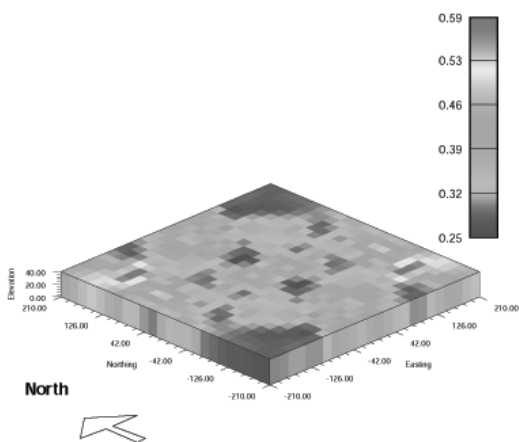
Фиг. 5. Обобщени вариограми по съдържанията на елементите Cu, Au, и Ag – участък Юрта. Използван е експоненциален модел



Фиг. 6. Вариограмна структура в хоризонтално направление, изведена по 18 вариограми за съдържанията на сребро



Фиг. 7. Вариограмна структура в хоризонтално направление, изведена по 18 вариограми за съдържанията на злато



Фиг. 8. Вариограмна структура в хоризонтално направление, изведена по 18 вариограми за съдържанията на мед

Заклучение

Направените статистически и геостатистически изследвания, извършени по данни от проучването на Зидаровското рудно поле, изразяват пространствените закономерности в разпределението на съдържанията на елементите Cu, Au и Ag в участъците Канарата и Юрта. Вариограмните модели показват сравнително неравномерно изменение в пространственото разпределение на съдържанията. Наблюдаваната анизотропия има сложна морфология, вероятно дължаща се на сложния геоложки строеж и различните посоки на тектонските нарушения. Наблюдава се както геометрична, така и зонална анизотропия. От анализа вариограмните

повърхности на съдържанията в участък Канарата може да се каже, че измененията в стойностите на медта и среброто са най-плавни в СЗ-ЮИ и З-И направление, а за златото предимно в З-И направление, докато в С-Ю направление се наблюдават най-големи стойности на променливостта на съдържанията. Изследвани са и данни от експлоатационното проучване на рудна зона 50 на участък Юрта, където са установени завишени съдържания на злато от кота +30 до кота -300, докато на по-голяма дълбочина съдържанието му спада. Съществува тенденция за намаляване съдържанието на златото от централните участъци на рудната зона към фланговете и. Пространствените характеристики по отделните типове вместващи скали не са анализирани, поради което направените модели имат приблизителен и обобщаващ характер

Литература

- Захариев, Хр., А. Граматиков, Н. Донева. 1992. Доклад за извършените геолого-проучвателни работи на медно-златни и пиритно-златни руди в Зидаровското рудно поле, участък Юрта, за периода 1981-1992 г. с изчисляване на запаси към 30.12.1992 г. Министерство на околната среда и водите, Национален Геофонд, I-1192.
- Захариев, Хр., Ст. Стоянова. 1997. Доклад за извършените геолого-проучвателни работи на медно-златни руди в участък Канарата от Зидаровското рудно поле с изчисление на запаси към 30.12.1996 г. Министерство на околната среда и водите, Национален геофонд, I-1288.
- Маринов, Т. 1980. Алкалните интрузивни скали в района на с. Зидарово, Бургаско. – *Сп. БГД*, 41, 2, 112-119.
- Маринов, Т., Ив. Байрактаров. 1981. Петроложка характеристика на субвулканските дайкови скали от Зидаровския централен магмен комплекс. – *Сп. БГД*, 42, 1, 56-66.
- Попов, П. 1981. Структура на Зидаровското рудно поле. *Сп. БГД*, 42, 1, 45-55.
- Попов, П., В. Ковачев, Стр. Страшимиров, В. Желев, Р. Арнаудова, Б. Банушев, П. Ставрев, Р. Радичев. 1993. *Геология и металогения на Бургаския руден район*. С., МГУ. 93 с.
- Рашков, Р., Ив. Байрактаров, П. Попов, Т. Маринов, Л. Нафтали, М. Антонов, Ц. Антимова. 1978. Етапи в развитието на сенонския магматизъм в Зидаровското рудно поле. – 25 г. *ВМГИ*, 95-104.
- Станишева-Василева, Г., Л. Василев. 1972. Върху присъствието на горнокредна палеовулканска постройка в района на село Зидарово и нейното рудно значение. – *Рудодобив*, 3, 9-12.
- Matheron, G. 1967. *Traite de Geostatistique Appliquee*. Technic, Paris.
- Popov, K. 2002. Geochemical associations in Radka ore district. – *Ann. Univ. Min. Geol.*, 45, 1, 57-63.
- Rendu, J.-M. 1981. *An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation*. South African Institute of Mining and Metallurgy, Printpack Ltd.
- Wingle, W., E. Poeter, S. McKenna. 1997. *UNCERT User's Guide*. Colorado School of Mines.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ