

## Ендогенна геохимична зоналност на златните орудявания в находище Воздол, Челопешко рудно поле

Стефан Д. Бояджиев

Научноизследователски институт по полезни изкопаеми, 1505 София

*S. D. Bojadjiev — Endogenic geochemical zoning of the gold mineralizations in Vozdol Deposit, Celopesh ore field.* The gold-bearing ore bodies were contoured along three prospecting profiles and their primary Au aureoles were outlined. The endogenic geochemical zoning within the contours was studied and the following zonal sequence (upwards) was revealed: Ni—Co, Zn, Pb—Mo, Ag, As—Sn, Ba—Au—Cu—Bi. The vertical geochemical zoning is well expressed in the range of several hundreds of meters and despite of certain differences from the classical vertical zoning in hydrothermal deposits due to the objective incompleteness of the geochemical sampling, it proves the hydrothermal origin of the gold mineralization in the deposit. Nine contrasting, monotonously decreasing in depth geochemical zoning indices of 1st and 2nd order are proposed. Their boundary values are computed for those parts of the geochemical anomalies which lie above, within (upper, middle and lower parts) and below the mineralized bodies. The ore bodies are related according to ore zones in depth and the level of exposure of the gold mineralization in the deposit is estimated. The indices derived enable to forecast the location of supposed hidden ore bodies and to make various geochemical constructions and conclusions.

### Увод

Рудните минерализации в района на медно-златно-полиметалното находище Воздол в Челопешкото рудно поле са известни отпреди Втората световна война, като още през 1938—1939 г. компания „Луда Яна“ е прокарала няколко проучвателни галерии. Находището се проучва повече от 10 години и до настоящия момент са извършени значителни по обем търсещи и проучвателни (главно сондажни, отчасти минни) работи. Находището се е проучвало без използване на геохимични методи на търсене, което рязко е снижило ефективността на геологопроучвателните работи. През 1982 г. на находището е извършена металометрична снимка в М 1:5000 по мрежа на опробване 50×15 и 50×50 m и на площ 2,5 km<sup>2</sup> са съставени карти на вторичните литохимични ореоли на главните рудни елементи: злато, мед, олово, цинк и сребро.

## Принципи и методи за изследване на ендегенната зоналност

Под геохимична зоналност се разбира закономерното изменение в пространството на съотношенията между съдържанията (продуктивностите) на елементите от типоморфния комплекс (Соловов и др. 1971). В практическо отношение най-важно значение има вертикалната зоналност. Най-популярният начин за представяне на геохимичната зоналност е подреждането на елементите в ранжиран ред на последователно отлагане по максималните им съдържания от подрудните „високотемпературни“ към надрудните „нискотемпературни“ хоризонти на рудната зона.

Първи сведения за зоналността на хидротермалните находища се срещат в работите на Еттопс (1924, 1935). Най-детайлно ендегенната зоналност на хидротермалните находища в последните 10—15 години е изучена от Григорян и Овчинников (Григорян и Янишевский, 1968; Овчинников и Григорян, 1970; Беус и Григорян, 1975; Барсуков и др., 1981). В резултат на сравнителното изучаване на първичните ореоли на над 300 хидротермални находища от различни рудни формации Овчинников и др. (1976) предлагат обобщен ред на вертикално зонално отлагане на елементите в тях. Предложеният ред има статистически устойчив характер, макар че в много случаи получените редове на зоналност се отличават значително от него.

Изследването на ендегенната зоналност в рудните тела и техните първични ореоли има две страни: качествена и количествена. Качествената се заключава в установяването на реда на последователно отлагане на елементите, а количествената — в намирането на монотонно изменящи се в дадено направление безразмерни геохимични показатели на зоналност  $v$ , имащи понятен геохимичен смисъл (отношения на надрудни към подрудни типоморфни елементи) и значителна контрастност ( $R = \frac{v_{\max}}{v_{\min}}$ ).

В настоящия момент ендегенната зоналност се изследва основно по методиките на С. В. Григорян и А. П. Соловов. В предложената от Григорян методика (Овчинников и Григорян, 1970; Григорян, 1973; Инструкция по геохимическим. . . , 1983) редът на зоналност на елементите се определя по максималните стойности на относителната им линейна продуктивност, изчислена в „метрогеофонове“ в аномалните сечения, а за уточняване местоположението в реда на елементите с еднакви максимуми се извършва допълнително пресмятане на градиента на продуктивността. Крайните елементи в построения ред на зоналност участвуват в пресмятането на индикаторни отношения от различен порядък, измежду които се подбират монотонните геохимични показатели. Автоматизиран вариант на методиката с известни изменения е осъществен от сътрудници на ИМГРЭ (Комплекс программ. . . , 1980). В методиката, предложена от Соловов и др. (1973), редът на отлагане на елементите се определя по осреднения център на тежестта на всевъзможните двойки отношения между съдържанията (продуктивностите) на елементите в метриката на геохимично опробваните рудни сечения, обхващащи интервала „надруден ореол—руда—подруден ореол“. Принципите на тази методика са намерили автоматична реализация в серията програми „06-МГУ“ и в получената всеобщо признание програма „Ню-2“ на Николаев и др. (1977), посредством която могат да се намерят общите геохимични закономерности за рудни „обекти“ в един и същ или в няколко различни геоложки разреза, от едно или от няколко генетично еднотипни рудни находища. Сходството между

частните редове на зоналност за всеки „обект“, от които се получава общият зонален ред на „обектите“ в композицията, се оценява чрез коефициента на рангова корелация. При съставянето на композицията от съществено значение е да се отчете появата на очакваните случайни монотонни показатели на зоналност при независим характер на входните данни. Броят им при 95% доверителен интервал е  $N$  критично и се определя по номограмата на Ю. В. Шваров (Соловов и др., 1978). Търсят се монотонни или условно монотонни показатели на зоналност от I до III порядък включително. Между намерените показатели на зоналност се избират обикновено  $n=8\div 10$  монотонно изменящи се с дълбочината (предимно от I и II порядък), чрез които се оценяват (таксират) рудните сечения в метриката на еталона

(Соловов и др., 1978) посредством  $z = \bar{z} \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$ , където  $\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$  е

средната оценка (в нива, в метри) на таксираното рудно сечение (ниво), а  $S = \beta_n \cdot R$  — стандартното отклонение на отделните оценки  $Z_i$ , определено чрез размаха  $R = Z_{\max} - Z_{\min}$  и множителя  $\beta_n$  от таблицата на Типет. Доверителният интервал  $\left(\pm \frac{S}{\sqrt{n}}\right)$  на оценката на средното ( $\bar{Z}$ ) е своеобразен критерий за генетичната близост на таксираното орудяване към еталона и е желателно да бъде от порядъка на  $\pm 0,5$  „ниво“, или  $\pm 40-50$  m.

Чрез модални изследвания (Бабаев, 1984, непубликувани данни) е показано, че ако се наруши условието за пълнота на геохимичното опробване от надрудните първични ореоли през промишлените рудни интервали до подрудните ореоли включително, получените редове на вертикална геохимична зоналност могат съществено да се отличават от истинските, но дори и в този случай намерените показатели на зоналност не губят своето значение за количествено описание на зоналността.

## Кратка геоложка характеристика на находището

Находище Воздол е разположено в северния борд на Челопешката синклинала, намираща се в Златишкия грабен (Бончев, 1971). В геоложкия строеж на находището според Моев и Антонов (1976, 1978) вземат участие скалите на докамбрийския високометаморфен, долнопалеозойския нискометаморфен и горнокредния вулканогенно-седиментен комплекс. Рудните тела са стръмно наклонени и по своя морфоложки тип могат да се причислят към т. нар. сложни жили, състоящи се от гъсто преплитачи се жилки или впръследи около тектонски нарушения. Разположени са в рудоносни зони, които според Попов и др. (1981<sup>1</sup>) са привързани главно към разривни нарушения с изток-североизточно направление (система А—Ябланишка система по Бончев, 1971). Рудните минерализации са вместени главно в зоните на интензивна березитизация (Михова и Стайкова, 1983, непубликувани данни) и се установяват предимно в дълбочина. Главни рудни минерали са пирит, халкопирит, сфалерит и галенит; подчинено значение имат хематит, рутил, тенантит-тетраедрит, айкинит, емплектит; към редките се отнасят самородно злато, магнетит, марказит, енаргит, борнит, молибденит, ковелин, халкозин и др. (Попов и др., 1981; Тодоров, 1982; Мутафчиев, 1982; Михова и Стайкова, 1983, непубликувани данни). Рудите в находището съдър-

<sup>1</sup> Непубликуван доклад, Геофонд при КГ.

жат повишено съдържание на голям набор от елементи, едни от които присъствуват във вид на самостоятелни минерали, а други във вид на примеси влизат в основните рудни минерали. Промислените минерализации и свързаните с тях нерудни минерали са се формирали в рамките на единен хидротермален процес, в който отделните изследователи отделят различни минерални парагенези (Попов и др., 1981; Мутафчиев, 1982; Тодоров, 1982; Михова и Стайкова, 1983, непубликувани данни). В находището са установени три промишлени типа руда: златно-пиритна, медно-златно-пиритна и оловно-цинкова, съдържаща благородни елементи (Стоичков и др., 1983<sup>1</sup>).

От проведените досега комплексни геологопроучвателни работи (Стоичков и др., 1983) в находището са изучени, проследени и околтурени четири основни рудни зони — А<sub>5</sub>, А<sub>6</sub>, А<sub>7</sub> и А<sub>8</sub>, с прилежащите им апофизи. Зоните се проследяват по посока от 250 (А<sub>8</sub>) до 800 m (А<sub>7</sub>), имат азимут от 60—70 (А<sub>5</sub>) до 80—90° (А<sub>7</sub> и А<sub>8</sub>) и наклон на юг от 60 (А<sub>7</sub>) до 85° (А<sub>6</sub> и А<sub>8</sub>), вертикалният им размах достига до 600—700 m. Във всичките рудни зони е установено медно-златно-пиритно орудяване, а в апикалните части на рудна зона А<sub>5</sub> пространствено е засебена и самостоятелна златно-пиритна руда.

## Методика и материали

Анализът на резултатите от детайлната литохимична снимка в М 1 : 2000 по прокараните сондажи в находище Воздол, Челопешко рудно поле, изяви широк спектър от рудни полезни компоненти със съдържания (Au, Cu, Pb, Zn, Ag). Ендогенната зоналност на златото бе изследвана на трите вертикални напречни разреза по профилни линии VIII, IX и X, тъй като в пределите на тези профили в съвременния елувий-делувий се формират богати вторични ореоли на разсейване на Au (Куйкин и др., 1983, непубликуван доклад, Геофонд при КГ), а в сондажите им се установяват интервали с кондиционни Au съдържания на дълбочина около 600 m от повърхността. Литохимичните проби са вземани от ядката на геологопроучвателните сондажни и минни изработки на хоризонт 850 m. Изработките са опробвани за първичен ореол по точково-късовия метод, като дължината на пробите е до 5 m във вместиците скали и непрекъснато (секционно) в рудните участъци и в хидротермално променените скали — дължината на пробите е от 0,25 до 3 m (Стоичков и др., 1983), което отговаря на изискванията на действащата инструкция по геохимични методи за търсене на рудни находища. Анализите на пробите за първичен ореол са направени в лабораториите на ГПЛИ: общ емисионен спектрален анализ — в спектралните лаборатории с началници Р. Топузов и М. Рачева и химико-спектрален анализ за Au с чувствителност 0,02 g/t — в рентгено-флуоресцентната лаборатория (началник Л. Апостолова). На рудните проби са направени химически анализи на Pb, Zn, Cu, Ag, S и на Au (теглопробивен метод с чувствителност 0,2 g/t в лабораторията „Фазов анализ на руда“ с началник К. Колева). Пълният набор на спектралноанализираните елементи в последните 2—3 години включва (в скоби е посочена чувствителността на анализа в 10<sup>-3</sup>%): Ba (10), Sb (3), As (10), Ag (0,02), Pb (0,2), Zn (3), Cu (0,1), Bi (0,1), Ni (0,1), Co (0,1), Mo (0,1), Sn (0,1), W (1), Cr (0,1), Ga (0,1), Tl (0,1), Cd (1), V (0,1), Mn (0,1), Sr (7).

<sup>1</sup> Непубликуван доклад, Геофонд при КГ.

Полуколичественият спектрален анализ на пробите по първичен ореол и пробирният анализ на Au на рудните проби от сондажите на VIII, IX и X профил позволиха да се набележи обширен спектър на типоморфни рудни елементи със съдържания в пределите на рудните зони, значително превишаващи фоните им стойности. Между тях бяха избрани 12 химически елемента, отговарящи на типоморфния комплекс на златни и медно-полиметални орудявания (Г р и г о р я н, 1982), които се характеризират с удовлетворителна чувствителност на спектралния анализ и значителен размах на съдържанията си в пределите на рудните зони. Фонът на тези елементи ( $C_{\Phi}$ ) и минимално-аномалните им съдържания ( $C_A$ ) бяха определени след обстоен преглед на наличния аналитичен материал (табл. 1).

Таблица 1

Местен геохимичен фон ( $C_{\Phi}$  в  $10^{-3}\%$ ) и минимално-аномални съдържания ( $C_A$  в  $10^{-3}\%$ ) на типоморфните елементи в първичните ореоли (ПО) и във вторичните ореоли на разсейване (ВОР) в находище Воздол

| Елементи | Au                                    | Zn | Pb  | Cu | Bi  | Ag   | Co  | Ba | As | Ni  | Su  | Mo  |
|----------|---------------------------------------|----|-----|----|-----|------|-----|----|----|-----|-----|-----|
| ПО       | $C_{\Phi}$ 0*                         | 10 | 1,5 | 5  | 0*  | 0,01 | 0,3 | 50 | 0* | 1   | 0,3 | 0,1 |
|          | $C_A$ 0,01 — проб.<br>0,002 — спектр. | 20 | 5   | 10 | 0,1 | 0,02 | 1   | 70 | 10 | 2   | 0,5 | 0,3 |
| ВОР      | $C_{\Phi}$ 0*                         | 8  | 3   | 5  | 0*  | 0,02 | 0,2 | 50 | 0* | 0,3 | 0,1 | 0,1 |
|          | $C_A$ 0,002 — спектр.                 | 20 | 10  | 20 | 0,1 | 0,05 | 0,5 | 70 | 10 | 0,7 | 0,3 | 0,2 |

\* Линейната продуктивност е пресметната по формулата  $M = \sum_{i=a}^n C_{ii}$ , за  $C_i$  — всички открити съдържания по спектрален анализ за Au, Bi, As и „сл.“=0,1 по пробирен анализ за Au; данните за елементите са в условни единици.

Златорудните тела (фиг. 1—3) са околтурени главно по данни от пробирното Au (предимно са в дълбочина и съвпадат в основни линии и с тези на ГПО „Челопеч“) и на спектрално анализирания петметрови сондажни проби (обикновено са към повърхността и не са били отбелязани досега графично в разгледаните геоложки разрези). Около тях са изчертани първичните геохимични ореоли на Au по данни на пробирния и химико-спектралния анализ. Ендогенната зоналност е изследвана по програма „Ню-2“ чрез линейните продуктивности на типоморфните елементи в рудните сечения, пресметнати по формулата на С о л о в о в и др. (1978)  $M = \sum_{i=1}^k (C_i - C_{\Phi}) I_i$ ,

където  $I_i$  при  $i = 1, 2, \dots, k$  е дължината на  $i$ -тата аномална проба ( $C_i \geq C_A$ ). При околтурването на златнорудните тела две и повече рудни сечения, за които съществуват геоложки предпоставки да образуват рудно тяло, са интерпретирани като такова само ако геохимичната оценка (таксация) на нивото на разкриването им  $\bar{z}$  в метриката на еталона позволява това. За целта посредством избраните показатели на зоналност са таксирани 74 богати на Au рудни сечения, с които се изчерпват почти всичките интересни златни интервали в дълбочина по сондажите на VIII, IX и X профил.

Съде от таксираните сечения е допълнен и еталонът при изследване на ендегенната зоналност. Таксацията е осъществена на микрокалкулатор „Електрошва“ БЗ-21 чрез линейни регресионни уравнения, чиито коефициенти се определят по метода на най-малките квадрати (Воробьев и Шваров, 1984). Подобна таксация е извършена и на 19-те най-богати на Au интервала, разкрити от минните работи на хоризонт 850 m, и на 8-те най-перспективни с високата си продуктивност вторични ореоли на разсейване на Au, фиксирани на VIII, IX и X профил. Получените данни са използвани за построяване на обобщен модел на златорудното тяло, за определяне на вертикалния размах на Au орудяване в находището и оценка на ерозионния му срез, за пресмятане на прогнозните геохимични ресурси на Au в категория  $P_1$  по данни от сондажите и за конкретни предложения за допрудяване на Au орудяване в дълбочина и на повърхността (фиг. 1—3), което е предмет на настоящата статия.

## Първични геохимични ореоли на златото

Първичните ореоли на златото (фиг. 1—3) са построени в плоскостта на вертикалните напречни разрези по проучвателните линии VIII, IX и X около златосъдържащите рудни тела при следните предположения<sup>1</sup>: под рудно сечение се е разбирало такова сечение, продуктивността на Au орудяване в което е била  $\geq 8$  и съдържанията на Au в него са  $\geq 3$  по данни от пробирен анализ  $\geq 0,5$  по коригирани данни на спектралния анализ (коригиращият коефициент е 0,473); ореолните съдържания съставляват  $\geq 0,2 \div 0,3$  (но  $< 3$ ) по данни от пробирен анализ и  $\geq 0,3$  (но  $< 0,5$ ) по коригирани данни на спектралния анализ.

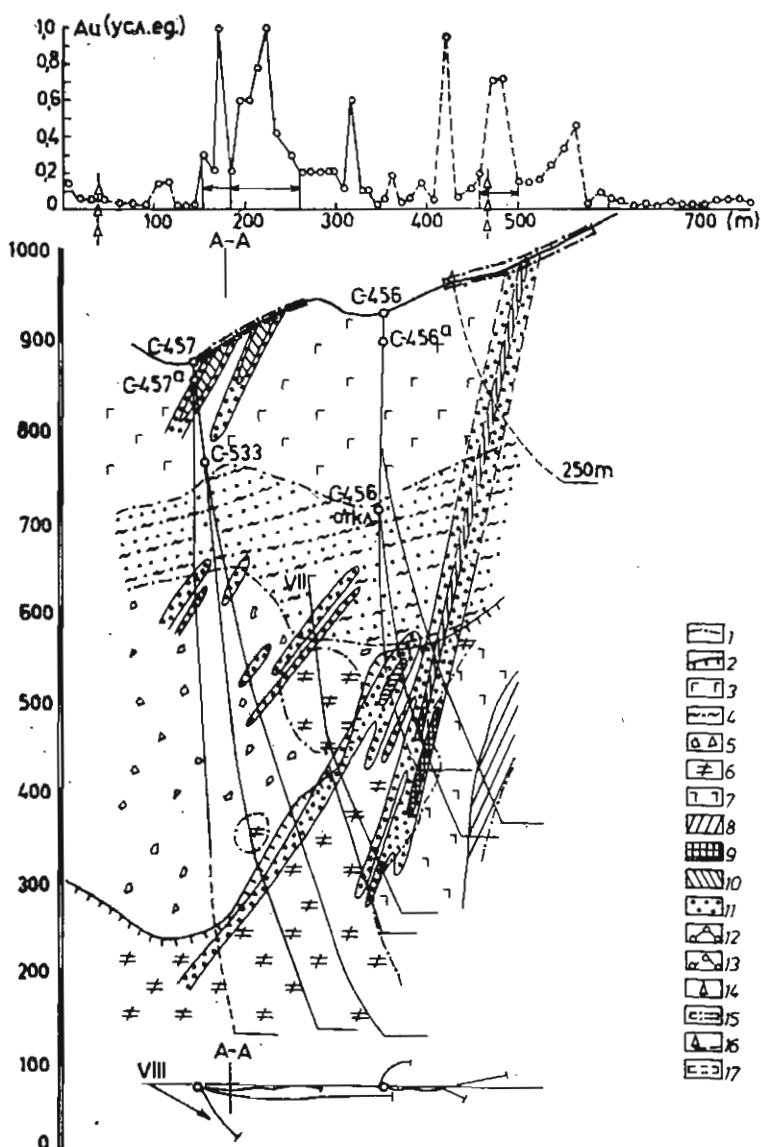
Рудните тела (фиг. 1, 2 и 3) в разглежданите три геоложки разреза са линейно изтеглени, пространствено са привързани основно към разломите с изток-североизточно направление (система А), имат наклон от 60 до 80° на юг, проследяват се по посока на дължина от 40 (фиг. 2) до 580 m (фиг. 3). Локализиран са главно в тектонския контакт на туронските конгломерати и пясъчници с докамбрийските гнайси, като често се разполагат и над или под него.

Първичните ореоли (фиг. 1—3) повтарят в основни линии формата на рудните тела. Обикновено се проследяват на 2—3 съседни сондажа, порядко на 4—5. Те са линейно изтеглени, имат наклон средно около 70° на юг, широчината им варира от 10—15 до 40—50 m, дължината им по падение на рудните тела е от 120 до 830 m. Всички рудни тела са оконтурени в дълбочина и имат подрудни първични ореоли. Някои рудни тела, свързани с богати вторични ореоли на разсейване и оконтурени за първи път от нас по данни на полуколичествените спектрални анализи, са изведени на повърхността със своите рудни интервали и нямат надрудни първични ореоли.

Рудните тела и техните първични ореоли са разположени в зони на хидротермално променени метасоматични скали, представени от березити. Строежът и морфологията на първичните ореоли на Au се определят най-вече от геологоструктурните особености на находището и геологоструктурните позиции на рудовместващите зони, с повишена роля на зоните на на-

<sup>1</sup> Всички данни за Au в статията (съдържания, средни съдържания, продуктивности) са дадени в условни единици, които за краткост не са отбелязани в скоби след данните.

пуканост и надробяване, което обяснява линейната изтегленост на рудните тела и на техните първични ореоли и определя значителния им вертикален размах.

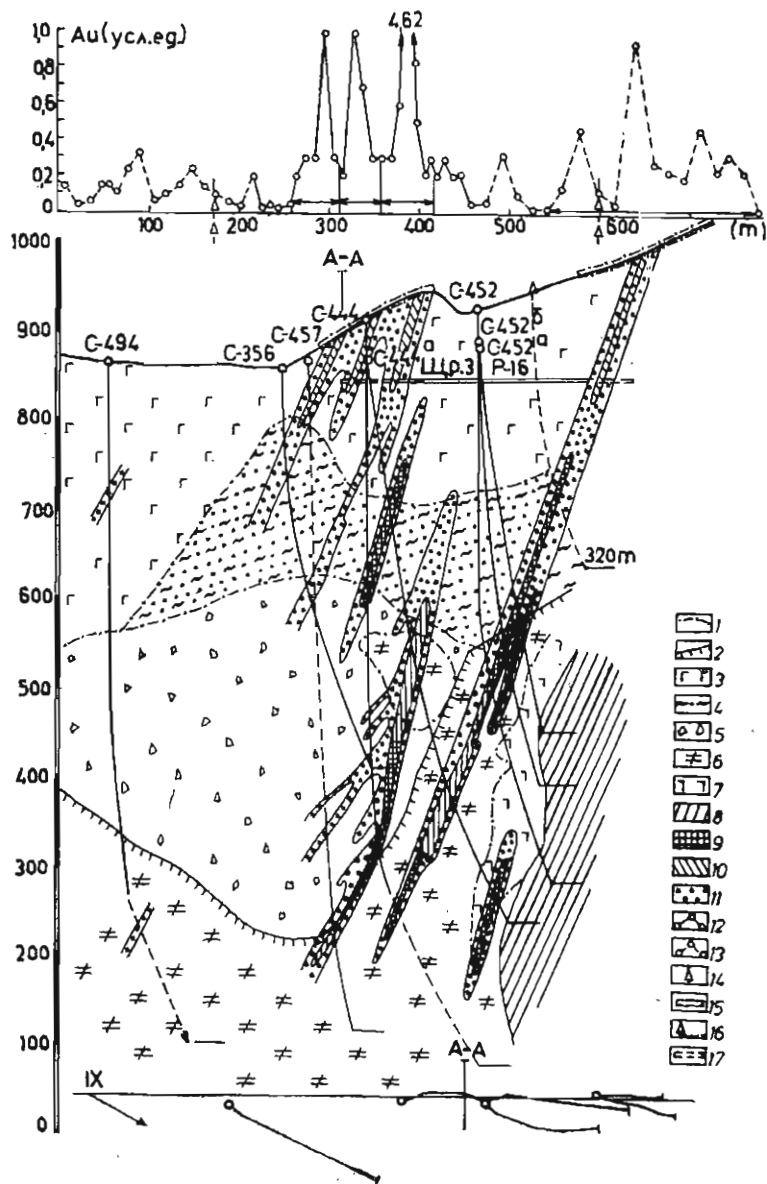


Фиг. 1

### Изследване на ендегенната зоналност на златните орудявания

В контурите на построените първични ореоли на Au бе пресметната линейната продуктивност на 12-те избрани типоморфни елемента, всеки от които в пределите на златорудните зони се характеризира с аномално високи съ-

варжания със значителен размах. В качеството на еталон беше избрано рудно тяло в рудна зона А, на IX профил с 5 рудни сечения, разстоянията между които по падение на рудната зона варират от 44 до 126 m, а най-високото (С 452<sup>a</sup>) и най-ниското му ниво (С 444) имат абсолютна надморска височина

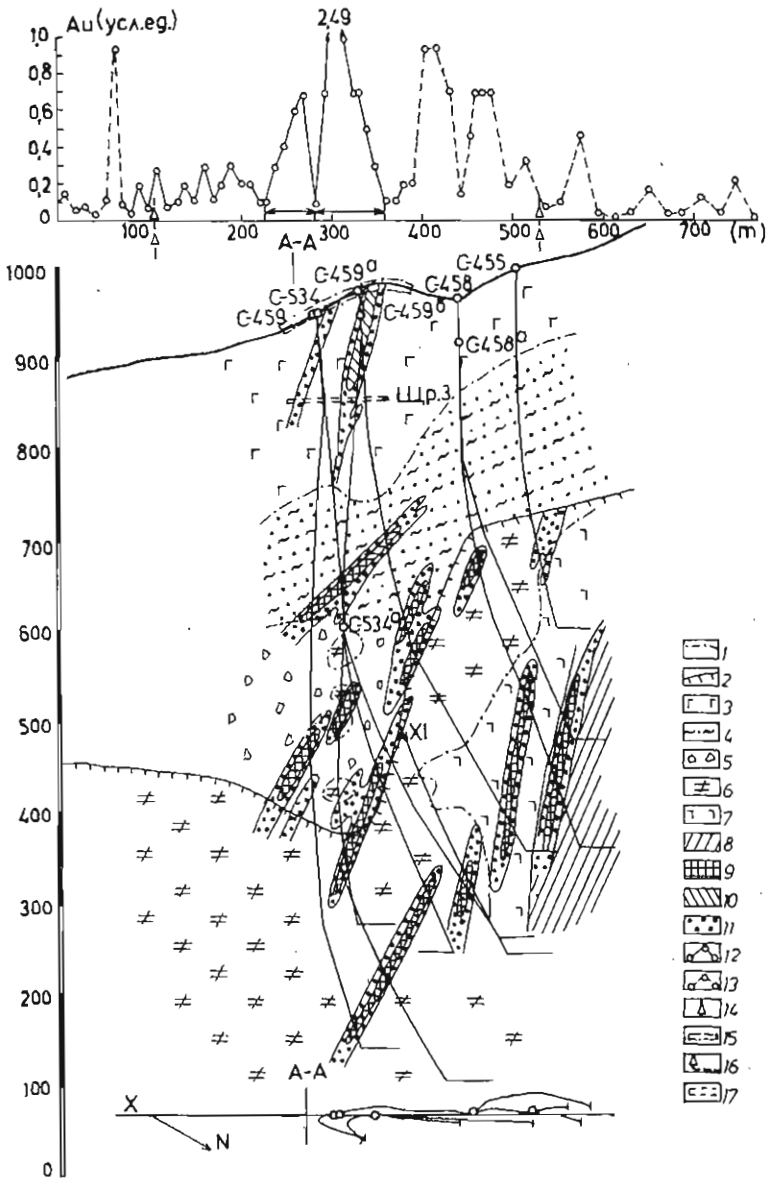


Фиг. 2

610 и 257 m (фиг. 2). Съставената композиция за програмата „Ню-2“ се състои от 3 рудни тела (обекта): I (еталон) — представен с 5 нива; II — с 3 нива; III — с 3 нива (табл. 2), като всичките нива са разположени по-ниско от зоната на окисляване. Очакваният критичен брой на случайните монотон-



ни показатели на зоналност от I и II порядък, изчислен по номограмата на Шваров (Соловов и др., 1978), е  $N_{\text{крит}}=3$ , което ни позволява да потърсим общите за трите обекта монотонни показатели от I и II ред.



Фиг. 3

Изпълнени са 3 цикъла на програмата: нулевият включва намирането на частните родове на зоналност за всеки обект и общият за трите обекта, първият и вторият — намирането на геохимични показатели съответно от I и II порядък. Броят на възможните отношения от II порядък (включително

и простите степени на геохимичните показатели от I порядък) е 2211,57 от тях са общи за трите обекта и тъй като 47 от общите показатели са монотонни ( $47 \gg 3 = N_{\text{крит}}$ ), отпада необходимостта от търсене на общи монотонни показатели от III порядък. Намереният общ ред на вертикална зоналност (от долу на горе) има следния вид:

Pb—Ni—Co—As—Zn—Ba—Mo, Ag—Su—Cu—Au—Bi.

Устойчивото положение на Au в крайните десни части на частните редове за зоналност и наличието на достатъчно голям брой непрекъснато намаляващи с дълбочината геохимични отношения на Au към елементите съпътстващи показват, че в непосредствена близост до по-дълбоко опробваните рудни сечения на стръмно наклонените жили не съществува втори ешелон златно орудяване. Това ни позволява да потърсим общите за трите обекта монотонно изменящи се показатели на зоналност, без да се опасяваме, че поставянето условие е способно да изопачи истинската зоналност на златното орудяване. За оценка на новооткрити рудопроявления и интервали на минерализация в метриката на еталонното рудно тяло бяха избрани 9 геохимични показателя на зоналност  $v_1 \div v_9$  от I и II порядък, монотонно намаляващи с дълбочината, имащи понятен геохимичен смисъл и добър размах (разрешаваща сила) R в еталонното тяло (табл. 3).

Петте нива на еталона бяха допълнени с 2 рудни сечения, абсолютната надморска височина на които — оценка в метриката на еталона, се оказва по-ниска от най-дълбокото му ниво (С 458, X профил,  $\bar{H}=197,3$  m и С 534<sup>a</sup>, X профил,  $\bar{H}=138,5$  m). Съставена бе нова композиция (1 обект със 7 нива) за „Ню-2“ (табл. 2) с оглед получаване на по-конкретни геохимични показатели на зоналност ( $N_{\text{крит}}=2$ , монотонните показатели от II порядък са 37). Редът на вертикалната геохимична зоналност (от долу на горе) в този случай е

Ni—Co, Zn, Pb—Mo, Ag, As—Su, Ba—Au—Cu—Bi

и има силна корелационна връзка с предишния зонален ред, като ранговият коефициент на корелация между тях е  $\Gamma=0,892$ . Тъй като новополученият ред на зоналност в сравнение с предишния е пресметнат чрез композиция, съдържаща обект с повече рудни сечения, последните две от които са подрудни, и броят на очакваните случайни монотонни показатели  $N_{\text{крит}}$  е по-малък, имаме основание да предполагаме, че той доуточнява предишния ред на зоналност и че неговите показатели на зоналност имат също обективен геохимичен смисъл. От друга страна, този ред по-добре отговаря на съществуващите представи за зоналността на хидротермалните находища (Б а р с у к о в и др. 1981) и бе приет за основен ред на вертикалната ендеогенна зоналност на златното орудяване в находище Воздол.

Приетият ред на зонално отлагане на елементите съответствува на разпределението на рудните минерали — концентратори по наклона на рудната зона. Елементите от лявата част на реда отговарят на минерали на високо-среднотемпературната асоциация с  $t^{\circ}$  на минералообразуване  $>300^{\circ}$  (П о п о в и др., 1981): Ni — милерит, Co — като микропримеси в пирита, Zn — сфалерит. Елементите от дясната част на реда са свързани с минералите от нискотемпературната асоциация (сулфосоли на Bi, Cu — борнит, ковелин, халкозин). Положението на някои елементи (Pb, вероятно Cu) в реда на зоналност невинаги се поддава на обяснение от гледна точка на връзката им с едни или други минерални форми. Редът на зоналност има среднестатистически характер и сумира цялото многообразие на процесите на формиране на златното орудяване в находището — например налагането на златно-пиритния и златно-медно-пиритния стадий на минералообразуване (П о п о в и др., 1981, Т о д о р о в, 1982; М у т а ф ч и е в, 1982). Установено

Таблица 2

Линейни продуктивност ( $\mu$  в т%) на типоморфните елементи в рудните сечения на

| Обекти на композициите |       | Рудни сечения (нива) |                  |                         | Елементи                 |          |       |        |
|------------------------|-------|----------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|----------|-------|--------|
| Първа                  | втора | № по ред             | местоположение   |                         |                          | Au       | Zn    | Pb     |
|                        |       |                      | сондаж №         | дълбочина в сондажа (m) | надморска височина Н (m) |          |       |        |
| I (еталон)             |       | 1                    | 452 <sup>б</sup> | 320                     | 610                      | 0,00769  | 1,86  | 0,481  |
|                        |       | 2                    | 452 <sup>а</sup> | 367                     | 547                      | 0,00205  | 0,618 | 0,241  |
|                        |       | 3                    | 452              | 411                     | 508                      | 0,00182  | 2,06  | 0,446  |
|                        |       | 4                    | 444 <sup>а</sup> | 525                     | 383                      | 0,00195  | 2,0   | 1,33   |
|                        |       | 5                    | 444              | 651                     | 257                      | 0,000971 | 2,08  | 0,755  |
|                        | I     | 6                    | 458              | 540                     | 197,3                    | 0,00111  | 5,63  | 1,48   |
|                        |       | 7                    | 534 <sup>а</sup> | 705                     | 138,5                    | 0,000094 | 13,4  | 3,1    |
| II                     |       | 1                    | 452 <sup>б</sup> | 336                     | 590                      | 0,0021   | 0,224 | 0,0968 |
|                        |       | 2                    | 452 <sup>а</sup> | 390                     | 530                      | 0,00124  | 0,204 | 0,16   |
|                        |       | 3                    | 452              | 460                     | 470                      | 0,000096 | 1,59  | 0,541  |
| III                    |       | 1                    | 444 <sup>а</sup> | 369                     | 545                      | 0,00274  | 2,8   | 0,892  |
|                        |       | 2                    | 444              | 561                     | 355                      | 0,00299  | 11,5  | 1,6    |
|                        |       | 3                    | 457              | 645                     | 225                      | 0,000288 | 3,03  | 1,92   |

е (Б а б а е в, 1984, непубликувани данни), че често поради практическата невъзможност за пълното изучаване на цялата зонална колонка от надрудния до подрудния първичен ореол включително могат да се наблюдават редица съществени отклонения на елементите в сравнение с обичайното им местоположение в обобщения ред на зоналност, при което реално получаващите редове на зоналност добиват доста странен характер на пръв поглед. Причината за наблюдаваните различия между конкретно получения от нас ред на вертикална зоналност на първичните ореоли на златните орудявания в находище Воздол и обобщения ред на зоналност на хидротермалните находища е в обективно съществуващото в случая непълно геохимично опробване<sup>1</sup> на интервала  $0,0 \leq z \leq 1,0$ .

Във втория случай също бяха избрани 9 монотонно намаляващи с дълбочината геохимични показателя на зоналност от I и II порядък, 4 от които съвпаднаха с предишните, а 5 са новопоявили се. Видът на тези показатели ( $v_1 \div v_9$ ) и размахът им ( $R'$ ) в обекта със 7 нива е показан в табл. 3. С новите показатели на зоналност бяха таксирани в метриката на еталона общо 8 нива (между тях са и двете рудни сечения, с които допълнихме еталона за втората композиция и богат вторичен ореол на разсейване), обхващащи доказания руден интервал на еталона (610 ÷ 257 m) и разположени и под него, за които оценката им по  $v_1 \div v_9$  е извършена чрез повече показатели на зоналност и доверителният ѝ интервал е по-тесен. „Новите“ местоположения и доверителните им граници и на 8-те нива не се различават от „старите“ по критерията на Фишер и Стюдент за нормален закон на разпределение при 5% ниво на значимост (табл. 4). Това показва, че избраните „новопоявили се“ показатели на зоналност  $v_5 \div v_9$  (табл. 3), характеризиращи еталонното тяло, напълно отговарят на хипсометричните му нива. Чрез

<sup>1</sup> Изводът за непълнота в геохимичното опробване е в резултат от построения обобщен модел на златното орудяване в находището (Б о я д ж и е в, 1984, непубликувани данни).

| Cu    | Bi      | Ag       | Co      | Ba    | As    | Ni     | Sn      | Mo      |
|-------|---------|----------|---------|-------|-------|--------|---------|---------|
| 12.4  | 0,176   | 0,00339  | 0,001   | 0,619 | 0,048 | 0,001  | 0,0088  | 0,00114 |
| 4.17  | 0,0527  | 0,005    | 0,030   | 1,19  | 0,319 | 0,0186 | 0,0086  | 0,00249 |
| 3.69  | 0,0315  | 0,00573  | 0,0152  | 0,493 | 0,233 | 0,0296 | 0,0112  | 0,00387 |
| 3.25  | 0,099   | 0,00405  | 0,13    | 4,5   | 0,1   | 0,155  | 0,168   | 0,05    |
| 0.45  | 0,0081  | 0,00248  | 0,00612 | 0,727 | 0,18  | 0,0375 | 0,0044  | 0,00178 |
| 0.513 | 0,0015  | 0,00563  | 0,184   | 0,034 | 0,234 | 1,72   | 0,0002  | 0,006   |
| 0.44  | 0,07542 | 0,00707  | 0,02868 | 0,102 | 0,144 | 0,28   | 0,00208 | 0,001   |
| 0.9   | 0,0269  | 0,00254  | 0,0007  | 0,07  | 0,042 | 0,001  | 0,00326 | 0,00222 |
| 0.976 | 0,141   | 0,00412  | 0,0182  | 0,844 | 0,452 | 0,015  | 0,0112  | 0,00486 |
| 0.273 | 0,0028  | 0,000677 | 0,00804 | 0,096 | 0,210 | 0,0184 | 0,0023  | 0,0011  |
| 5.36  | 0,252   | 0,0041   | 0,0177  | 7,7   | 0,022 | 0,25   | 0,192   | 0,0484  |
| 14    | 0,172   | 0,0174   | 0,0323  | 2,46  | 0,695 | 0,0696 | 0,0328  | 0,00906 |
| 4.03  | 0,0177  | 0,00945  | 0,0192  | 1,08  | 0,192 | 0,0437 | 0,0079  | 0,00132 |

показателите  $v_1 + v_9$  се осигурява правилна оценка в метриката на еталонното тяло на рудни сечения, лежащи в интервала 610 ÷ 257 m, под тази дълбочина обективната оценка на рудните зони трябва да се извършва с показателите  $v_1 + v_4$  и  $v_5 + v_9$ . По принцип може да се използват всичките 14 различни показателя, но тъй като за прогнозни оценки е достатъчно да бъдат привлечени 8 ÷ 10 показателя (Соловов и др., 1978), за оценка и прогноза на златорудните сечения в находище Воздол се предлагат като окончателни монотонно намаляващите с дълбочината геохимични показатели на зоналност  $v_1 + v_9$ . Предложените показатели са високоустойчиви на съседните профили независимо от характера на Au орудяване в тях. В пределите на изучените профили (VIII, IX и X) те не противоречат на наличните геоложки данни при обвързка и доуточняване на златните рудни тела по нивото на разкриване на таксираните им с тяхна помощ рудни сечения и на хипсометричното местоположение на последните — две геоложки нива на рудно тяло, разположени едно под друго в два съседни сондажа, при таксацията не разменят местата си (разбира се, трябва да се отчитат неизбежните флуктуации в оценките им:  $\bar{N} \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$ ).

Предложените показатели на зоналност  $v_1 + v_9$  се характеризират със следните гранични стойности в надрудния, горнорудния, среднорудния, долнорудния и подрудния интервал на обобщения модел на златорудното тяло (табл. 5), които позволяват правилно да се обвързват рудните тела по рудни зони в дълбочина и да се оценява нивото на разкриване на златните орудявания в находището.

Таблица 3  
 Геохимични показатели на зоналност ( $v$ ) и размахът им ( $R$ ) в еталонното златорудно тяло и в обекта ( $v'$ ;  $R'$ )

|       |                       | Геохимични показатели на зоналност ( $v$ )              |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |
|-------|-----------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|       |                       | Размах на показателите, $(R = \frac{v_{max}}{v_{min}})$ |                               |                               |                               |                               |                               |                               |                               |
| $v_j$ | $v_1 = \frac{Au}{Pb}$ | $v_2 = \frac{Au, Bi}{Zn, Ni}$                           | $v_3 = \frac{Au, Cu}{Pb, As}$ | $v_4 = \frac{Au, Cu}{Pb, As}$ | $v_5 = \frac{Cu, Bi}{Zn, Co}$ | $v_6 = \frac{Cu, Ag}{Pb, As}$ | $v_7 = \frac{Cu, Bi}{As, Mo}$ | $v_8 = \frac{Bi^2}{Co, Ni}$   | $v_9 = \frac{Bi, Ag}{As, Ni}$ |
|       | $R(ст.)$              | 7327                                                    | 1282                          | 30457                         | 4170                          | 3460                          | 3570                          | 11200                         | 4250                          |
| $v_i$ | $v_1 = \frac{Au}{Pb}$ | $v_2 = \frac{Au, Bi}{Zn, Ni}$                           | $v_3 = \frac{Au, Cu}{Pb, As}$ | $v_4 = \frac{Au, Cu}{As, Ni}$ | $v_5 = \frac{Au, Cu}{Zn, Ni}$ | $v_6 = \frac{Bi, Mo}{Ni, Zn}$ | $v_7 = \frac{Cu, Mo}{Pb, Nz}$ | $v_8 = \frac{Cu, Bi}{Zn, Pb}$ | $v_9 = \frac{Bi^2}{Zn, Zn}$   |
|       | $R(ст.)$              | 7327                                                    | 1282                          | 30457                         | 9161                          | 265                           | 1039                          | 1069                          | 27                            |
| $v_j$ | $v_1 = \frac{Au}{Pb}$ | $v_2 = \frac{Au, Bi}{Zn, Ni}$                           | $v_3 = \frac{Au, Cu}{Pb, As}$ | $v_4 = \frac{Au, Cu}{As, Ni}$ | $v_5 = \frac{Au, Cu}{Zn, Ni}$ | $v_6 = \frac{Bi, Mo}{Ni, Sn}$ | $v_7 = \frac{Cu, Mo}{Pb, Ni}$ | $v_8 = \frac{Cu, Bi}{Zn, Bb}$ | $v_9 = \frac{Bi^2}{Zn, Zn}$   |
|       | $R'$                  | 5450000                                                 | 44600                         | 1940000                       | 4650000                       | 2490                          | 58000                         | 43200                         | 1860                          |

Таблица 4

Оценки на абсолютната надморска височина  $[\bar{H} \pm \frac{S}{\sqrt{n}} (n, m)]$  на рудни сечения в метриката на статистическото златорудно тяло чрез показателите на зоналност  $v_1 \rightarrow v_9$  и статистическото им сравняване по Фишер и Стюдент

| Местоположение на рудните сечения в сондажа [Н. м] | Оценка на абсолютната надморска височина $[\bar{H} \pm \frac{S}{\sqrt{n}} (n, m)]$ |                            | Статистически различия по Фишер (F) и по Стюдент (t) |                    |                          |       |                    |                          |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|-------|--------------------|--------------------------|
|                                                    | чрез $v_1 \rightarrow v_9$                                                         | чрез $v_1 \rightarrow v_9$ | F изч.                                               | F <sup>5%</sup> кр | заклю-<br>чение          | t изч | t <sup>5%</sup> кр | заклю-<br>чение          |
| C33P. 705 m, X пр.                                 | 120,8 ± 46,2(7)                                                                    | 138,5 ± 54,6(8)            | 1,60                                                 | 4,3                | статист. неразли-<br>чим | 0,24  | 2,16               | статист. неразли-<br>чим |
| C45P. 485 m, X пр.                                 | 164,4 ± 34,9(9)                                                                    | 220,9 ± 26,4(9)            | 1,63                                                 | 3,5                |                          | 1,29  | 2,12               |                          |
| C45B. 540 m, X пр.                                 | 197,1 ± 25,5(9)                                                                    | 197,3 ± 22,2(9)            | 1,32                                                 | 3,5                |                          | 0,006 | 2,12               |                          |
| C45Z. 460 m, IX пр.                                | 235,9 ± 25,2(9)                                                                    | 241,4 ± 27,9(9)            | 1,22                                                 | 3,5                |                          | 0,146 | 2,12               |                          |
| ВОР-5 890 m, VII пр.                               | 302,8 ± 20,6(9)                                                                    | 329,4 ± 19,7(8)            | 1,23                                                 | 3,8                |                          | 0,93  | 2,13               |                          |
| C45T. 270 m, VIII пр.                              | 402,3 ± 41,0(9)                                                                    | 386,1 ± 32,6(9)            | 1,58                                                 | 3,5                |                          | 0,31  | 2,12               |                          |
| C45R. 328 m, X пр.                                 | 577,8 ± 25,7(9)                                                                    | 528 ± 31,3(9)              | 1,48                                                 | 3,5                |                          | 1,23  | 2,12               |                          |
| C45Q. 470 m, X пр.                                 | 595,6 ± 49,0(9)                                                                    | 606,7 ± 43,3(9)            | 1,28                                                 | 3,5                |                          | 0,17  | 2,12               |                          |

## Заклучение

Наличието на добре проявената в рамките на няколкостотин метра вертикална геохимична зоналност въпреки известни различия с класическата вертикална зоналност на хидротермалните находища е доказателство за хидротермалния произход на златната рудна минерализация в находище Воздол. Различията между получения и обобщения зонален ред се дължат на непълното геохимично опробване на всички нива (хоризонти) от интервала  $0 \leq z \leq 1,0$  на моделното рудно тяло в контура на първичния му ореол. Получените контрастни монотонни показатели на зоналност позволяват еднозначно да се оцени нивото на разкриване на новооткритите геохимични аномалии и да се прогнозира местоположението на предполагаеми скрити златосъдържащи рудни тела.

При изследването на ендегенната зоналност бяха използвани рудни сечения, продуктивността на елементите в които ги определя като златоносни, а не полиметални (табл. 2). За по-прецизна оценка на типа на орудяването (златна или полиметална минерализация) е желателно да се привлекат допълнителни критерии — например чрез изобразяване на състава им на тройни диаграми (М а т в е в, 1981) или посредством кларковете на концентрацията на елементите (Б е у с и др., 1976).

Авторът изказва сърдечна благодарност на проф. А. П. С о л о в о в (МГУ, Москва) за полезните съвети и оказаната методична помощ.

Таблица 5

Геохимични показатели на ендегенна вертикална зоналност за оценка на златните рудняки в находище *Воздел* в метриката на етапноното затворудо тяло и граничните им стойности в интервала  $0,2 > z > 0,8$

| Показатели на зоналност ( $v_i$ )       | Частни на интервала ( $\bar{H}$ , $m$ ; $z$ ) |                                           |                                           |                                           | Размах на показателя на зоналност в пределите на една част от интервала $R'' = \frac{v_i(1)^*}{v_i(5)^*}$ |                            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|                                         | надружен $> 775(7)$ ; $< 0,2(7)$              | горноруден $775 \pm 610$ ; $0,2 \pm 0,4$  | средноруден $610 \pm 440$ ; $0,4 \pm 0,6$ | долноруден $440 \pm 275$ ; $0,6 \pm 0,8$  |                                                                                                           | подружен $< 275$ ; $> 0,8$ |
| $v_1 = \frac{Au}{Pb}$                   | $> 5,6 \cdot 10^{-2}$                         | $5,6 \cdot 10^{-2} \pm 1,6 \cdot 10^{-2}$ | $1,6 \cdot 10^{-2} \pm 4,1 \cdot 10^{-3}$ | $4,1 \cdot 10^{-3} \pm 1,3 \cdot 10^{-3}$ | $< 1,3 \cdot 10^{-3}$                                                                                     | 3,5                        |
| $v_2 = \frac{Au \cdot Bi}{Zn \cdot Ni}$ | $> 6,3 \cdot 10^1$                            | $6,3 \cdot 10^1 \pm 7,4 \cdot 10^{-1}$    | $7,4 \cdot 10^{-1} \pm 8,6 \cdot 10^{-3}$ | $8,6 \cdot 10^{-3} \pm 1 \cdot 10^{-4}$   | $< 1 \cdot 10^{-4}$                                                                                       | 85,6                       |
| $v_3 = \frac{Au \cdot Cu}{Pb \cdot As}$ | $> 1,5 \cdot 10^2$                            | $1,5 \cdot 10^2 \pm 4,1 \cdot 10^0$       | $4,1 \cdot 10^0 \pm 1,2 \cdot 10^{-1}$    | $1,2 \cdot 10^{-1} \pm 3,2 \cdot 10^{-3}$ | $< 3,2 \cdot 10^{-3}$                                                                                     | 35,8                       |
| $v_4 = \frac{Au \cdot Cu}{As \cdot Ni}$ | $> 3,5 \cdot 10^5$                            | $3,5 \cdot 10^5 \pm 2 \cdot 10^3$         | $2 \cdot 10^3 \pm 1,1 \cdot 10^1$         | $1,1 \cdot 10^1 \pm 6,5 \cdot 10^{-2}$    | $< 6,5 \cdot 10^{-2}$                                                                                     | 175,4                      |
| $v_5 = \frac{Au \cdot Cu}{Zn \cdot Ni}$ | $> 4,9 \cdot 10^3$                            | $4,9 \cdot 10^3 \pm 5,1 \cdot 10^1$       | $5,1 \cdot 10^1 \pm 5,4 \cdot 10^{-1}$    | $5,4 \cdot 10^{-1} \pm 5,6 \cdot 10^{-3}$ | $< 5,6 \cdot 10^{-3}$                                                                                     | 95,7                       |
| $v_6 = \frac{Bi \cdot Mo}{Ni \cdot Su}$ | $> 3,8 \cdot 10^2$                            | $3,8 \cdot 10^2 \pm 2,3 \cdot 10^1$       | $2,3 \cdot 10^1 \pm 1,4 \cdot 10^0$       | $1,4 \cdot 10^0 \pm 8,7 \cdot 10^{-2}$    | $< 8,7 \cdot 10^{-2}$                                                                                     | 16,3                       |
| $v_7 = \frac{Cu \cdot Mo}{Pb \cdot Ni}$ | $> 9,5 \cdot 10^2$                            | $9,5 \cdot 10^2 \pm 2,9 \cdot 10^1$       | $2,9 \cdot 10^1 \pm 9,1 \cdot 10^{-1}$    | $9,1 \cdot 10^{-1} \pm 2,8 \cdot 10^{-2}$ | $< 2,8 \cdot 10^{-2}$                                                                                     | 32,2                       |
| $v_8 = \frac{Cu \cdot Bi}{Zn \cdot Pb}$ | $> 8,1 \cdot 10^1$                            | $8,1 \cdot 10^1 \pm 2,5 \cdot 10^0$       | $2,5 \cdot 10^0 \pm 7,6 \cdot 10^{-1}$    | $7,6 \cdot 10^{-1} \pm 2,3 \cdot 10^{-3}$ | $< 2,3 \cdot 10^{-3}$                                                                                     | 32,7                       |
| $v_9 = \frac{Bi^2}{Zn \cdot Sn}$        | $> 1 \cdot 10^1$                              | $1 \cdot 10^1 \pm 2 \cdot 10^0$           | $2 \cdot 10^0 \pm 3,7 \cdot 10^{-1}$      | $3,7 \cdot 10^{-1} \pm 7,2 \cdot 10^{-3}$ | $< 7,2 \cdot 10^{-3}$                                                                                     | 5,2                        |
|                                         | $> v_{i(1)} \cdot \sqrt{R''}$                 | $v_{i(1)} \cdot \sqrt{R''} \pm v_{i(1)}$  | $v_{i(1)} \pm v_{i(5)} \cdot \sqrt{R''}$  | $v_{i(5)} \cdot \sqrt{R''} \pm v_{i(5)}$  | $> v_{i(5)}$                                                                                              |                            |

\* $v_{i(1)}$  — стойност на  $v_i$  в най-високото (първото) ниво на етапона,  $N=610 m$ ; \*\* $v_{i(5)}$  — стойност на  $v_i$  в най-ниското (петото) ниво на етапона,  $N=257 m$ .

## Л и т е р а т у р а

- Б а р с у к о в, В. Л., С. В. Г р и г о р я н, Л. Н. О в ч и н н и к о в. 1981. *Геохимические методы поисков рудных месторождений*. М., Наука, 317 с.
- Б е у с, А. А., Л. И. Г р а б о в с к а я, Н. В. Т и х о н о в а. 1976. *Геохимия окружающей среды*. М., Недра, 248 с.
- Б е у с, А. А., С. В. Г р и г о р я н, 1975. *Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых*. М., Недра, 280 с.
- Б о з а ч е в, Е. 1971. *Проблемы на българската геотектоника*. С., Техника, 204 с.
- В о р о б ь е в, С. А., Ю. В. Ш в а р о в. 1984. *Программы для обработки геохимических данных на микрокалькуляторах*. М., Недра, 101 с.
- Г р и г о р я н, С. В. 1973. Первичные геохимические ореолы при поисках в разведке гидротермальных месторождений. — *Сов. геол.*, 1, 15—33.
- Г р и г о р я н, С. В. 1982. *Рудогенные геохимические аномалии*. М., Недра, 208 с.
- Г р и г о р я н, С. В., Е. М. Я н и ш е в с к и й. 1968. *Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений*. М., Недра, 197 с.
- И н с т р у к ц и я по геохимическим методам поисков рудных месторождений. 1983. М., Недра, 190 с.
- Комплекс программ для обработки геохимической информации на ЭВМ. 1980. — В: *Алгоритмы и программы*, 6 (32). М., ВНЭМС. 141 с.
- М а т в е е в, А. А. 1981. Методика литохимических поисков медных месторождений Казахстана. — Автореферат канд. диссертации. М. 24 с.
- М о е в, М. С., М. С. А н т о н о в. 1976. О стратиграфии сенонских пород в Центральном Средногорье. — *Докл. Болг. акад., наук*, 29, 10, 1515—1517.
- М о е в, М., М. А н т о н о в. 1978. Стратиграфия на горната креда в източната част на Стъргелско-Челопешката ивица. — *Год. ВМГИ*, 23, 2, 7—30.
- Ж у г а ф ч и е в, А. 1982. Минералогия и эндогенна зональность на рудите от находище Воздол, Челопешко рудно поле. — *Рудообр. процеси и минерални находища*, 17, 50—61.
- Н я к о л а е в, В. А., А. П. С о л о в о в, Ю. В. Ш в а р о в. 1977. Новые программы для исследования зональности рудных месторождений. — В: *Применение автоматизированных систем и ЭВМ при геохимических исследованиях*. Алма-Ата, 16—20.
- О в ч и н н и к о в, Л. Н., С. В. Г р и г о р я н. 1970. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — В: *Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений*. 1. Иркутск, Наука, 3—36.
- О в ч и н н и к о в, Л. Н., С. В. Г р и г о р я н, Э. Н. Б а р а н о в. 1976. Зональность ореолов гидротермальных месторождений и ее практическое значение. — В: *Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений*. М., Наука, 61—69.
- С о л о в о в, А. П., А. В. Г а р а н и н, В. С. Г о л у б е в, А. А. М а т в е е в. 1971. Теоретические основы геохимических методов поисков слепых рудных тел. — В: *Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений*. 2. Иркутск, Наука, 245—297.
- С о л о в о в, А. П., А. В. Г а р а н и н, Л. С. В и л ь. 1973. *Исследование зональности рудных месторождений с помощью ЭВМ*. Алма-Ата, ОНТИ КАЗИМСа. 70 с.
- С о л о в о в, А. П., А. А. М а т в е е в, В. М. Р я х о в с к и й. 1978. *Геохимические методы поисков рудных месторождений*. М., МГУ. 182 с.
- Г о д о р о в, Т. 1982. Минералогика характеристика на находище Воздол, Челопешко рудно поле. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 43, 3, 271—281.
- Э т т о н с, W. H. 1924. Primary downward changes in ore deposits. — *Trans. Amer. Inst. Mining. Eng.*, 70, 964—997.
- Э т т о н с, W. H. 1935. Hypogene zoning in metalliferous bodies. — *16-th Internat. Geol. Congr., Rept. I*, 417—432.

Поступила на 26. XI. 1984 г.)