

Връзка между химичния и минералния състав и околорудните изменения на скалите в меднопорфирното находище Асарел по резултати от кореспондентния анализ

Методи Караджов, Андрей Андреев, Милко Каназирски

Karadjov, M., A. Andreev, M. Kanazirski. 1999. Connection between chemical and mineral composition and wallrock alteration in the Assarel porphyry copper deposit: A result from the correspondent analysis. - *Geochem., Mineral. and Petrol.*, **36**, 93-102

Abstract. The connection between chemical composition, mineral composition and wallrock alterations is investigated by two statistical multivariate methods. The object consists of 29 representative samples from the Assarel porphyry copper deposit, classified as propylitic, propylitic-sericitic, sericitic, sericitic-advanced argillic, pyrophyllite (acid chlorine) and alunite (acid sulphate) types altered rocks.

The information matrix is formed of data for 6 oxides (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O) and 7 mineral phases (epidote, K-feldspar, albite, chlorite, sericite, pyrophyllite, alunite).

H_2O and SO_3 are perfectly mobile components of the system, SiO_2 is an inert component in excess and quartz occurs in all parageneses. TiO_2 is an independent inert component and pyrite is a mineral in excess as well. All these oxides and minerals are eliminated because they deform the statistical model.

The study allows to define three principal factors accounting for >80% of the data variations and they are identified as three physico-chemical characteristics of the metasomatic evolution: (1) acidity of the media (2) basic cation interaction, forming the mineral parageneses in the rocks and (3) cation interaction, forming the propylite type altered rocks. Factors II and III illustrate the dependence between the quantity of the basic cations and the quantity of the mineral phases determining the different types of wallrock alterations. The relations studied can not be established by mineral paragenetic analysis, which is only a qualitative analysis.

Keywords: Correspondent analysis, cluster analysis, wallrock alteration, porphyry copper deposit

Address: Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria;

E-mail: metodi@geology.bas.bg

Ключови думи: кореспондентен анализ, клъстър анализ, околорудни изменения на скали, меднопорфирни находища

Адрес: Геологически институт, Българска академия на науките, 1113 София

Въведение

Зависимостта химичен състав - минерална парагенеза в хидротермално изменените скали е изследвана детайлно и отразена на диаграми състав - парагенеза, характерни за различните типове метасоматити. Минералните парагенези са в основата на генетичната класификация на околорудните изменения на скалите (Meuser and Hemley, 1967) и на метасоматитите (Жариков и Омеляненко, 1978), което означава, че връзката минерален състав - околорудно изменение е изучена от позиция на термодинамиката. Големи са затрудненията при изследване на зависимостта химичен състав - околорудно изменение, поради сложността и многообразието на метасоматичните процеси. Не случайно няма издържана класификация на околорудните изменения на скалите и на метасоматитите на химична основа.

Данните за химичния, минералния състав и околорудните изменения на скалите в горните части на находище Асарел (Kanazirski, 1992; Каназирски и др., 1996; Kanazirski et al., 1995; Каназирски, 1996; Kanazirski, 1999) предоставиха възможност да се изследват съотношенията в тази триада. По класификацията на Meuser and Hemley (1967) се отделят следните типове дорудни изменения на скалите: пропилитов, серицитов и интензивно аргилизитов. С изследване на равновесните минерални парагенези са доказани и преходни пропилигово-аргилизитов, пропилигово-серицитов и серицигово-интензивно аргилизитов тип. В интензивно аргилизитовия тип са отделени кисело-хлориден и кисело-сулфатен тип.

Серицизовият и интензивно аргилизитовият тип изменение са доминиращи околорудни изменения в находище Асарел. Това са изменения, характерни за епитермалното развитие на меднопорфирните системи в горните им части, в които съставът на разтворите определя смесена метеорно-магмена хидротермална

система, със силно доминиране на метеорната ѝ част. Особен интерес представлява кисело-сулфатният интензивно аргилизитов тип и свързаните с него епитермални златни минерализации (Heald et al., 1987; Sillitoe, 1992; Eaton and Setterfield, 1993; Hedenquist et al., 1995).

Целта на работата е с метода на кореспондентния анализ в комбинация с клъстър анализа да се изследва зависимостта химичен състав, минерален състав и околорудно изменение на скали от горните части на находище Асарел. В качество на работна хипотеза бе допуснато, че чрез прилагането на многомерните статистически методи околорудно изменените скали, получени при промяна на физикохимичните условия на метасоматозата, ще се разграничат в отделни групи и ще се определят най-важните фактори, контролиращи околорудните изменения в находището.

Доколкото ни е известно, такива изследвания в метасоматичната петрология не са провеждани.

Методика

Формиране на представителна матрица от данни

В предишни етапи от изучаването на порфирно-епитермална система Асарел са получени голям брой резултати от микроскопски, рентгенографски, микросондови, химични, разчетно-аналитични и физикохимични петроложки анализи за минералния, химичния състав и околорудните изменения в находището (Велинов и др., 1989)¹. Обект на настоящото изследване са 29 представителни проби от

¹Велинов, И., М. Каназирски, М. Горова, Р. Петрунов, Ат. Хиков, П. Драгов, Е. Димитрова, А. Кунов. 1989. Топоминераложка документация на новите геологопроучвателни сондажи на находище Асарел. Геофонд. Геологически институт "Акад. Стр. Димитров", БАН. 349 с.

Таблица 1а. Химически състав на представителни проби от находище Асарел
 Table 1a. Chemical composition of the Assarel deposit representation samples

No	проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
Пропилитов тип										
1	751/131	61,20	0,61	16,46	6,19	2,94	3,10	3,78	2,82	2,69
2	768/50	63,22	0,57	15,82	5,44	2,40	1,59	4,36	3,47	3,09
3	779/65	62,26	0,52	16,46	5,11	2,19	3,98	2,37	4,02	2,86
4	779/138	62,24	0,55	16,59	5,19	2,28	1,28	3,44	3,90	4,46
5	769/46	70,45	0,30	11,47	5,36	2,32	0,23	3,85	1,89	4,01
Пропилитово-серицитов тип										
6	759/97	63,51	0,87	21,06	2,07	1,20	0,15	6,16	1,08	3,89
7	751/168	57,41	0,71	18,19	7,47	6,44	0,15	0,89	2,22	6,30
8	779/116	59,27	0,53	17,01	6,76	4,19	1,53	0,95	3,66	5,97
9	764/128	76,56	0,13	9,09	7,21	1,76	0,07	0,57	1,24	3,37
10	773/175	66,34	0,42	13,45	7,44	0,80	0,13	1,80	2,65	3,54
11	775/42	74,87	0,23	10,70	5,74	1,24	0,04	0,43	1,78	4,94
Серицитов тип										
12	773/28	67,23	0,65	16,69	3,54	1,09	0,13	0,15	5,27	4,17
13	773/93	65,73	0,48	16,49	4,97	0,80	0,13	0,15	3,57	4,87
Серицитово-интензивно аргилизитов тип										
14	766/395	83,80	0,07	9,30	0,29	0,21	0,08	0,22	1,50	2,60
15	769/122	74,08	0,19	12,61	5,48	0,20	0,06	0,31	1,98	4,90
16	761/101	64,05	0,62	18,45	6,48	0,37	0,34	1,09	2,32	7,55
17	769/87	75,09	0,13	11,55	6,23	0,20	0,04	0,17	1,21	5,20
18	757/77	66,02	0,75	16,48	7,34	0,20	0,10	0,35	1,97	6,69
Интензивно аргилизитов пиррофилитов (кисело-хлориден) тип										
19	750/91	71,43	0,91	14,75	3,92	0,19	0,40	0,42	0,38	7,47
20	754/84	67,33	0,92	19,79	4,58	0,20	0,26	0,10	0,005	6,63
21	756/80	70,82	0,65	15,08	5,33	0,20	0,08	0,11	0,15	7,26
22	761/50	71,38	0,53	15,58	2,94	0,16	0,23	0,10	0,17	5,61
Интензивно аргилизитов алунитов (кисело-сулфатен) тип										
23	766/193	73,57	0,21	12,41	1,48	0,04	0,08	0,50	0,33	11,55
24	751/103	55,60	0,71	15,83	5,52	0,86	0,34	1,37	1,63	18,16
25	760/139	41,66	0,87	29,13	7,80	0,90	0,14	0,94	0,43	18,10
26	756/74	61,53	0,66	17,00	6,12	0,20	0,12	0,67	0,58	12,80
27	768/51	63,40	0,56	12,63	4,71	0,20	0,12	1,29	1,06	15,70
28	751/20	61,06	0,80	14,49	1,77	0,20	0,17	1,17	1,93	18,10
29	761/57	60,18	0,63	14,46	1,40	0,06	0,25	1,75	1,25	18,70

хидротермално изменени скали, за които достоверност на количеството на чрез повторни или сравнителни анализи и минералните фази и петрогенните оксиди изчисления е постигната висока (таблици 1а и 1б).

Таблица 1б. Минерален състав на представителни проби от находище Асарел
 Table 1b. Mineral composition of the Assarel deposit representative samples

No	проба	Q	Ab	Ksp	Ep	Chl	Ser	Pyr	Prl	Alu	други
Пропилитов тип											
1	751/131	18,5	32,0	11,0	13,0	9,5	11,5	5,2	-	-	-
2	768/50	17,5	37,0	16,5	7,0	7,5	9,0	4,0	-	-	-
3	779/65	21,6	20,0	17,0	16,5	7,0	14,0	-	-	-	0,1
4	779/138	25,5	35,2	14,2	0,1	8,5	10,4	6,2	-	-	-
5	769/46	36,5	32,5	7,0	0,01	7,5	9,0	4,6	-	-	-
Пропилитово-серицитов тип											
6	759/97	17,8	44,0	-	-	0,1	28,5	2,7	-	-	2,5
7	751/168	26,8	7,5	-	0,6	31,0	24,9	0,4	-	-	-
8	779/116	28,6	10,1	3,0	-	19,7	31,4	6,2	-	-	-
9	764/128	62,0	5,0	1,8	-	6,9	14,7	6,9	-	-	-
10	773/175	34,8	15,5	-	-	0,1	33,0	9,4	-	-	1,0
11	775/42	66,3	1,3	-	-	7,9	13,4	7,1	-	-	-
Серицитов тип											
12	773/28	57,8	-	-	-	-	37,7	4,9	-	-	-
13	773/93	53,9	-	-	-	-	31,2	11,4	-	-	1,6
Серицитово-интензивно аргилизитов тип											
14	766/395	66,2	-	-	-	-	19,0	1,4	11,5	-	0,5
15	769/122	49,7	-	-	-	-	25,0	8,3	17,5	-	0,1
16	761/101	26,6	-	-	-	-	29,0	9,8	34,0	0,1	-
17	769/87	50,8	-	-	-	-	15,0	9,4	25,0	0,1	0,1
18	757/77	27,0	-	-	-	-	24,0	6,0	38,5	-	0,1
Интензивно аргилизитов пиррофилитов (кисело-хлориден) тип											
19	750/91	65,8	-	-	-	-	-	1,3	26,5	3,2	3,2
20	754/84	40,0	-	-	-	-	-	6,9	40,0	0,1	10,1
21	756/80	49,0	-	-	-	-	-	8,0	33,5	-	7,1
22	761/50	49,3	-	-	-	-	-	4,2	34,0	-	10,0
Интензивно аргилизитов алунитов (кисело-сулфатен) тип											
23	766/193	73,5	-	-	-	-	-	2,0	10,0	14,5	0,2
24	751/103	48,7	-	-	-	-	13,5	0,5	-	31,8	0,1
25	760/139	41,7	-	-	-	-	0,1	-	0,1	45,0	0,2
26	756/74	61,5	-	-	-	-	-	7,5	0,1	31,0	0,1
27	768/51	63,4	-	-	-	-	-	3,3	-	33,3	-
28	751/20	61,0	-	-	-	-	-	2,7	-	36,3	-
29	761/57	60,2	-	-	-	-	-	0,5	-	33,9	0,1

Друго условие при формиране на представителната извадка е недвусмислено и еднозначно класифициране на всяка проба към даден тип околорудно изменение на скалите

Теоретичната основа за определяне на различните типове на околорудните изменения на скалите е равновесната минерална асоциация. Тя дава генетична информация за основните фактори на метасоматичното минералообразуване.

Присъствието (или отсъствието) в минералната парагенеза дори на нищожно количество (под нивото на аналитичната грешка) от даден минерал е от значение за определяне на типовете околоруди изменения и преходите между тях. Тези неотличими за статистиката изменения изискват селекция на данните от таблици 1а и 1б, като вниманието се насочи към тези компоненти, които са от значение за получаване на равновесните минералните

фази. Това се постига с прилагане на физикохимичния анализ на минералните парагенези (Коржинский, 1957). В този анализ природните минералообразователни системи се разглеждат като отворени термодинамични системи с напълно подвижни компоненти. Според поведението им в системата същият автор разделя химичните компоненти в две групи - напълно подвижни и инертни компоненти, последните с подгрупи: в излишък, изоморфни, обособени, примеси и виртуални.

Валовият състав на системата, включваща компонентите на минералните фази в изменените скали в горните части на находище Асарел, е $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{SO}_3$. Анализът показва, че от инертните компоненти SiO_2 е компонент в излишък (съответно кварцът е минерал в излишък). Това е залегнало и в класификацията на Meyer and Hemley (1967), в двоените триъгълни диаграми ACF/AKF на която не е нанесен кварцът, приет като възможен минерал в равновесните минералните асоциации за всички типове околорудни изменения по алумосиликатни скали, свързани с гранитоиден магматизъм. TiO_2 е обособен компонент, който участва само в състава на рутила или на титанита. H_2O и SO_3 са напълно подвижни компоненти. При взаимодействието на хидротермалния разтвор с вместиращите скали от инертно в напълно подвижно състояние преминават допълнително Ca, Mg, Na и K. Виртуалните инертни компоненти, масите на които имат значение за получаване на епидот (Ep), калиев фелдшпат (Ksp), албит (Ab), хлорит (Chl), серицит (Ser), пирофилит (Prf) и алуни (Alu) в различните типове околорудно изменени скали, са: Na_2O , CaO, MgO, FeO и $\text{Al}_2\text{O}_3 \pm \text{K}_2\text{O}$ при пропиловия; Na_2O , K_2O , FeO и $\text{Al}_2\text{O}_3 \pm \text{MgO}$ при пропилово-аргилизитовия; MgO, FeO и Al_2O_3 при пропилово-серицитовия; K_2O , FeO и Al_2O_3 при серицитово-интензивно

аргилизитовия; FeO и Al_2O_3 при серицитовия и интензивно аргилизитовия тип изменение на скалите. Други символи на минерали в текста: Q - кварц; Py - пирит.

Невъзможността на настоящия етап да се различат хипогенния от супергенния каолинит в изменените скали в находище Асарел изключи възможността от включването на каолинита в елементите на матрицата.

Представеният кратък термодинамичен анализ налага следните параметри на входната матрица: 29 реда за представителните проби и 13 колони - 6 оксида (Na_2O , K_2O , CaO, MgO, FeO и Al_2O_3) и 7 минерала (епидот, калиев фелдшпат, албит, хлорит, серицит, пирофилит и алуни), наричани за краткост променливи или елементи.

Изследването не позволява да се оцени значението на температурата като основен термодинамичен параметър при метасоматичното минералообразуване, поради липса на данни за температурните интервали на устойчивост на равновесните минерални парагенези в находище Асарел.

Кореспондентен анализ

Изхождайки от целите на настоящето изследване, ние се спряхме на кореспондентния анализ (David et al., 1977) като най-подходяща многомерна статистическа процедура. При този анализ се получава възможността да се проектират на едни и същи оси (фактори), както пробите (обектите), така и признаците (оксиди, минерали и т. н.), което улеснява анализа на взаимоотношенията между тях.

Клъстер анализ

Приложен е алгоритъма на Jambu (1981). Важна особеност на този метод за йерархична автоматична класификация е, че той позволява директно използване на резултатите от кореспондентния анализ и в този смисъл може да се разглежда като едно негово продължение.

Като входни данни за клъстъризацията са взети резултатите за първите три фактора, получени от кореспондентния анализ.

При изследването са използвани компютърни програми за кореспондентен анализ (СА) и йерархична клъстъризация (RHC) с мярка на подобие Евклидово разстояние, създадени или адаптирани от Андреев (1991).

Резултати от изследването

В настоящото изследване теглата (дисперсия на фактора в проценти от общата дисперсия) на първите пет най-важни фактора са следните: I – 37,50%, II – 32,24%, III – 14,39%, IV – 7,54%, V – 5,76%. Тези резултати означават, че значимо статистическо тегло (>10%) притежават само първите три фактора и сумарно в тях се съдържа повече от 80% от цялата първоначална информация. От тези данни следва, че типовото разнообразие на околорудните изменения е формирано под въздействието на три фактора.

Таблица 2 съдържа координатите на пробите и променливите по първите три значими фактора. От тях може да се изведе структурата им, която има вида:

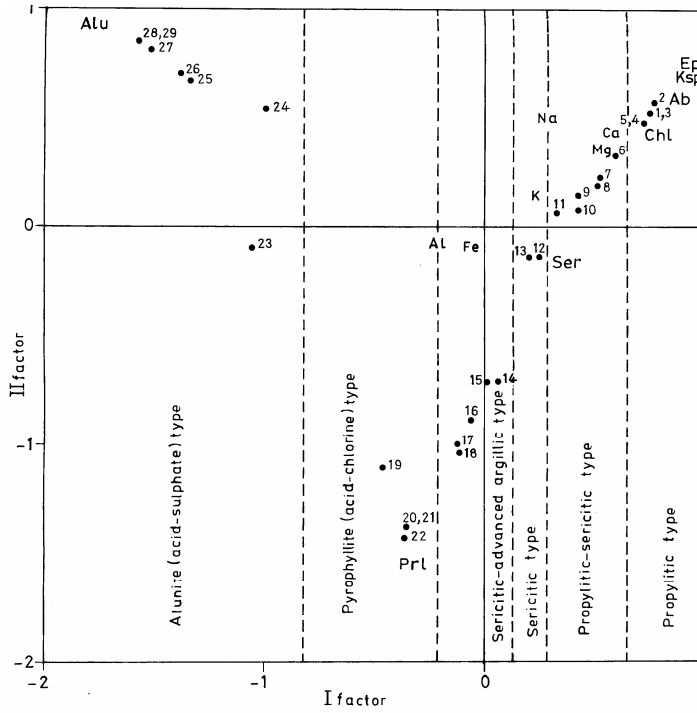
$$\begin{aligned}
 & \text{Ep(99), Ksp(96), Ab(89), Chl(78)} \\
 \text{I фактор} = & \text{-----} \\
 & \text{Alu(178)} \\
 & \text{Alu(92), Ep(73), Ksp(70)} \\
 \text{II фактор} = & \text{-----} \\
 & \text{Prl(155)} \\
 & \text{Ep(119), Ksp(92), Ca(65)} \\
 \text{III фактор} = & \text{-----}, \\
 & \text{Ser(71)}
 \end{aligned}$$

където цифрите представляват тежестта на съответната променлива в дадения фактор, изразени в проценти.

Таблица 2. Изчислени параметри на първите три главни фактора

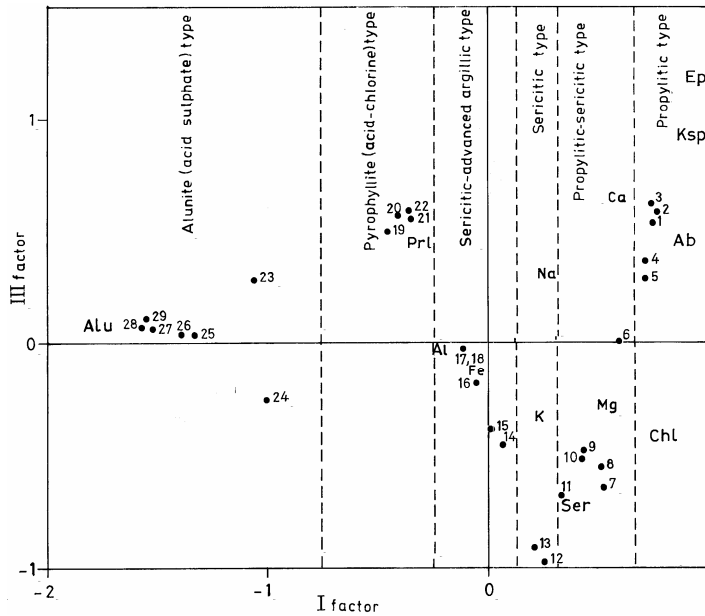
Table 2. Calculated parameters of the first three factors

	I factor	II factor	III factor
Al ₂ O ₃	-0,210	-0,068	-0,026
Fe ₂ O ₃	-0,056	-0,084	-0,133
MgO	0,543	0,357	-0,279
CaO	0,585	0,434	0,650
Na ₂ O	0,279	0,514	0,307
K ₂ O	0,235	0,145	-0,331
Ab	0,890	0,594	0,459
Ksp	0,962	0,700	0,924
Ep	0,988	0,734	1,190
Chl	0,779	0,438	-0,413
Ser	0,371	-0,161	-0,712
Prl	-0,327	-1,546	0,459
Alu	-1,776	0,925	0,072
1	0,759	0,526	0,536
2	0,782	0,557	0,587
3	0,756	0,515	0,623
4	0,723	0,492	0,363
5	0,729	0,489	0,286
6	0,604	0,323	0,007
7	0,539	0,224	-0,641
8	0,524	0,189	-0,551
9	0,438	0,140	-0,493
10	0,430	0,076	-0,516
11	0,337	0,060	-0,699
12	0,248	-0,136	-0,974
13	0,211	-0,139	-0,909
14	0,059	-0,708	-0,450
15	0,026	-0,714	-0,382
16	-0,050	-0,889	-0,153
17	-0,112	-0,999	-0,024
18	-0,101	-1,028	-0,031
19	-0,451	-1,105	0,499
20	-0,351	-1,378	0,568
21	-0,342	-1,381	0,556
22	-0,352	-1,428	0,595
23	-1,048	-0,095	0,281
24	-0,995	0,541	-0,257
25	-1,329	0,666	0,035
26	-1,377	0,696	0,040
27	-1,509	0,810	0,060
28	-1,561	0,846	0,067
29	-1,543	0,839	0,086



Фиг. 1. Разпределение върху равнината I - II фактор на фигуративните точки на изследваните 29 проби, 6 оксида и 7 минерала. Минерали: Ab - албит, Alu - алунит, Chl - хлорит, Ep - епидот, Ksp - калиев фелдшпат, Prl - пиррофилит, Ser - серицит. Пунктираната линия е граница между типовете околорудни изменения на скалите

Fig. 1. Plot of the I and II factor with points of the studied 29 samples, 6 oxides and 7 minerals. Minerals: Ab - albite, Alu - alunite, Chl - chlorite, Ep - epidote, Ksp - K-feldspar, Prl - pyrophyllite, Ser - sericite. The dotted line is border between wallrock alterations types



Фиг. 2. Разпределение върху равнината I - III фактор на фигуративните точки на изследваните проби и оксиди и минерали. Означенията са като на фиг. 1

Fig. 2. Plot of the II and III factor with points of the studied samples and variables

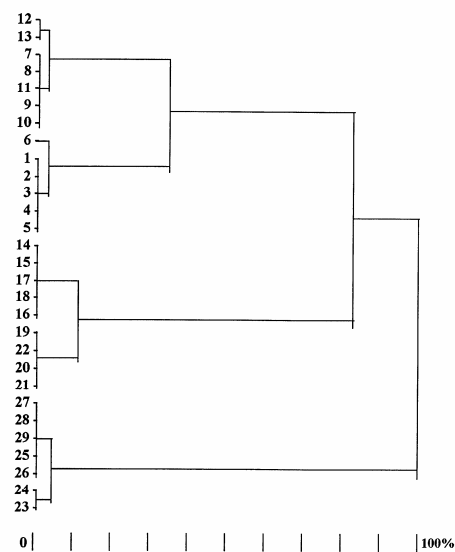
На фигури 1 и 2 са представени проекциите на пробите и елементите в равнините, определени от I - II фактор и I - III фактор. Наблюдава се добро съвпадение между обособените групи проби, отразяващи определен тип околорудно изменение на скалите и взаимното разположение и разделение на променливи и обекти. В допълнение трябва да се каже, че групите от близко разположени точки на пробите дават основание те да се разглеждат като получени в резултат на един и същ тип околорудно изменение. Близостта на групите от точки до точката, представляваща даден минерал или оксид, означава по-високо съдържание на минерала или оксида в представителните проби в групите и подчертава решаващото значение на минерала или оксида за тези проби.

Според представената на фиг. 3 дендрограма се вижда, че пробите, в които присъства алунит, са най-диференцирани (100%) спрямо останалите, а на следващо ниво (83%) се отделят продуктите на кисело-хлоридната метасоматоза. Подразделянето на последните (на ниво 12%) отразява различието на активната аргилизация от преходния тип околорудно изменение. На сравнително високо ниво (35%) се разграничават пропилитовия от пропилитово-серицитов тип изменени скали.

Обсъждане на резултатите

Факторите показват, че от първоначалните променливи с главен принос за формирането на първите два фактора са минералите, а оксидите се проявяват само в III фактор. Това е един съвсем закономерен резултат, като се има предвид, че именно съвкупността от равновесни минерали определя типа изменение на скалите.

Първият фактор "противопоставя" Er , Ksp , Ab и Chl на Alu . Минералната парагенеза $Er + Ksp + Ab + Chl$ е характерна за пропилитовия тип изменение, което протича в слабокисела до неутрална среда, а



Фиг. 3. Дендрограма, отразяваща евклидовите разстояния между 29 проби на околорудно изменени скали от Асарел

Fig. 3. Dendrogram illustrating Euclidean distances between 29 samples of wallrock alteration from Assarel

Alu в парагенеза с Q характеризира кисело-сулфатния тип изменение на скалите, определящ най-висока киселинност на средата на минералообразуване ($pH < 2$). Между двата крайни типа изменения на киселинния етап от хидротермалния цикъл са разположени групите на преходните между тях пропилит-серицитов, серицитов и кисело-хлориден серицит-интензивно-аргилитов тип изменение. Повишаването на киселинността на средата води до неустойчивост и заместване на Er , Ksp , Ab и Chl със по-стабилните при тези условия Ser , Prl и Alu . Това дава основание първият фактор да се изтъкне като фактор за киселинност-основността на средата на протичане на метасоматичните процеси. Получените резултати потвърждават значението на pH на средата на минералообразуване като един от най-важните физикохимични параметри на

метасоматизма. Параметърът рН отразява изменението на киселинност-основността на средата и е главният в еволюцията на постмагмения процес (Коржинский, 1953, Жариков и Омеляненко, 1978). Той е в основата на разделянето на постмагмения процес на раноалкален, киселинен, късноалкален и заключителен стадий.

Вторият фактор разграничава Prl, единственият минерал без основни катиони на основни метали, от минерали с такива катиони - по-киселофилния Alu, минералите Ep, Ksp, както и с по-малки натоварвания Ser, Chl и Ab, образувани при по-ниска киселинност на разтвора, в сравнение с киселинността на образуване на Prl. Този фактор отчита значението на количеството на основните катиони за количеството на получените минерални фази при различните типове изменения на скалите. Съдържанията на Al_2O_3 и SiO_2 са основни параметри при образуването на Prl. За характерната парагенеза Alu + Q на кисело-сулфатния тип изменение, освен съдържанието на Al_2O_3 и SiO_2 , от значение е и концентрацията на K_2O в хидротермалния разтвор. Количествата на Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O и FeO обуславят количествата на минералите в парагенезата Q + Ser + Prg, определяща серицитов тип изменение. Съдържанията на K_2O , FeO, Al_2O_3 , SiO_2 и MgO и на Na_2O , CaO, K_2O , FeO, Al_2O_3 , SiO_2 и MgO са от значение за образуване на съдържанията на характерните минерални парагенези съответно на пропилиново-серицитовия и на пропилиловия тип изменение.

Третият фактор (фиг. 2) представя в противоположни крайни позиции Ser от една страна и Ep, Ksp от друга. Този фактор позволява да се отчете още по-ясно значението на основните катиони за минералните парагенези в пропилиловия тип изменени скали. Тук "противопоставянето" на K и Mg на Na и Ca се изразява в получаването на по-богати на Ser и Chl минерали парагенези в по-горната част на диаграмата, където е от значение влиянието на K и Mg. Доминирането на Ca- и Na-

съдържащите минерали Ep и Ab е в долната част на диаграмата. Значението на Ca се подчертава и от обстоятелството, че CaO е единственият оксид, който от първоначалните променливи има принос, макар и проявен в III фактор.

Близките точки на оксидите на факторните диаграми показват по-силна корелация между тях. Ca и Na са в минерали, характерни за пропилиловия тип изменение, Mg и K - за пропилиновия и пропилиново-серицитовия тип изменение. K, освен за парагенезите на тези изменения, е характерен също така и за серицитовия, серициново-интензивно аргилизовия и кисело-сулфатния тип изменение на скалите.

Заклучение

Резултатите показват, че многомерният анализ разкрива добре връзката между химичния и минералния състав на хидротермално изменените скали и типа околорудно изменение. Парагенетичният анализ позволи една целесъобразна селекция на оксиди и минерали като променливи във входната матрица. От значение за получаване на равновесните минералните фази са виртуалните инертни компоненти K_2O , Na_2O , CaO, MgO, FeO и Al_2O_3 . Това са компонентите, масите на които имат значение за получаване на Ep, Ksp, Ab, Chl. Prl и Alu в различните типове околорудно изменени скали.

Интерес представляват II и III фактор, които показват значението на количеството катионите на основните елементи за количеството на получените минерални фази при различните типове изменения на скалите. Това не е по възможностите на физикохимичния анализ на минералните парагенези, който е само качествен анализ.

Едно бъдещо изследване с наличния голям брой химични анализи на метасоматитите в находището, за които има данни и за количествените съотношения на изграждащите ги минерали, би представлявало интерес. То би подпомогнало подобни

изследвания и на други меднопорфирни находища, за които се разполага с необходимите химични анализи, количествени минераложки определения и коректно определени типове околородни изменения на скалите.

Благодарности. За прецизната диагностика на минералните фази в метасоматитите от горните части на находище Асарел сме признателни за проведения полуколичествен рентгеноструктурен фазов анализ на валови проби - изменени скали от д-р И. Кералт от Института за Земята при Висшия съвет за научни изследвания, Барселона. Благодарни сме за микроскопските определения на инж. М. Горова, Геологически институт при БАН.

Литература

- Андреев, А. 1991. Многомерен анализ на геоложки системи. Автореферат на кандидатска дисертация, ГИ БАН, 34 с.
- Жариков, В. А., Б. И. Омеляненко. 1978. Классификация метасоматитов. - В: Коржинский Д. С. (ред.) *Метасоматизм и рудообразование*. М., Наука, 9-28.
- Каназирски, М. М. 1996. Физикохимична петрология на формацията вторични кварцити и интензивната аргилизация на скалите. Хидротермални изменения в епитермално златно-алунитово находище Родалкилар (ЮИ Испания). - Автореферат на докторска дисертация. ГИ БАН, 79 с.
- Каназирски, М., Г. Зарайский, И. Кералт, Ф. Плана. 1996. Експериментално моделиране на метасоматичната зоналност в горните части на меднопорфирно находище Асарел. - *Геохим., минерал. и петрол., С.*, **31**, 3-22.
- Коржинский, Д. С. 1957. *Физико-химические основы парагенезисов минералов*. М. Изд. АН СССР, 184 с.
- Коржинский, Д. С. 1953. Очерк метасоматических процессов. - В: *Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях*. М., Изд. АН СССР, 333-456.
- David, M., M. Dagbert, V. Beanchemin. 1977. Statistical analysis in geology: correspondence analysis method. - *Quart. Colorado School Min.*, **72**, 1, 60 p.
- Eaton, P. C., T. N. Setterfield. 1993. The relationship between epithermal and porphyry hydrothermal systems within the Tavua Caldera, Fiji. - *Econ. Geol.*, **88**, 1053-1083.
- Heald, P., D. O. Hayba, N. K. Foley. 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types. - *Econ. Geol.*, **82**, 1-26.
- Hedenquist, J., W., A. Arribas Jr., Y. Matsuhisa. 1995. The far Southeast-Lepanto Cu-Au deposit, Philippines: Porphyry to epithermal transition. - In: *Mineral Deposits*, Pasava, Kribek & Zak (eds), Balkema, Rotterdam. 451-454.
- Jambu, M. 1981. FORTRAN 77 Program for rapid hierarchical classification of large data sets. - *Comput. and Geosci.*, **7**, 297-310.
- Kanazirski, M. M. 1992. Mineral equilibria in the $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-SO_3$ system as a basis for distinguishing the acid-sulfate and adularia-sericite types of magmatic rock alteration in epithermal deposits. - *C. R. Acad. bulg. Sci.* **45**, 12, 89-91.
- Kanazirski, M. 1999. Thermodynamic basis for distinguishing the acide-sulphate and adularia-sericite types of rock in epithermal deposits and genetic analogy with the metasomatites of the formation classification. - *Geol. Balcanica*, **29**.
- Kanazirski, M., G. P. Zaraisky, I. Queralt, F. Plana. 1995. Experimental modelling of metasomatic zoning at intensive argillization of rocks from Assarel copper-porphyry deposit (Bulgaria). - *Experiment in Geosciences*, **4**, 16-20.
- Meyer, C., J. J. Hemley. 1967. Wallrock alteration. - In: H. L. Barnes (ed.), *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Neu York, Rinehart and Wilson, 166-235.
- Sillitoe, R. H. 1992. The porphyry-epithermal transition. - *Rept. Geol. Surv. Japan.*, **279**, 156-160.

Приета на 2. 11. 1999
Accepted November 2, 1999