

17. KHUDDOLEY, K. y A. Meyerhoff: "Paleogeography and Geological History of Greater Antilles", in *Geological Society of America Memoria*. No. 129, 1971.
18. LADD, J.: "Relative motion of South America with respect to North America and Caribbean Tectonics". *Boletín de Geodinámica*. No. 1 Comisión Internacional de Geodinámica, Venezuela, 1977 (Reproducción del Vol. 87, No. 3 del *Geological Society of America Bulletin*):
19. MALFAIT, B. y M. DINKELMAN: "Circum-Caribbean Tectonic and Igneous Activity and the Evolution of the Caribbean Plate". *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 80, No. 2, 1972.
20. MATTSON, P.: "Middle Cretaceous Nappe Structures in Puerto Rican Ophiolites and their relation to the Tectonic History of Greater Antilles". *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 84, No. 1, 1973.
21. MATTSON, P. y E. PASSAGNO: "Jurassic and Early Cretaceous radiolarians in Puerto Rican ophiolite-Tectonic implications" *Geology*. Vol. 7, No. 9, 1979.
22. MEYERHOFF, A.: "Bartlett Fault System: Age and offset". *Third Caribbean Geological Conference, Transaction*, 1966.
23. OBRADOVICH, J.: "Valoración de los métodos de medición del tiempo geológico y paradoja de las escalas geológicas temporales". *Memorias del XXVII Congreso Geológico Internacional. Sección Estratigrafía*. Moscú, 1984 (En ruso).
24. PERFIT, M.: "Petrology and geochemistry of mafic rocks from the Cayman Trench: Evidence for spreading". *Geology*. Vol. 5, No. 2, 1977.
25. PERFIT, M. y B. HEEZEN: "The Geology and evolution of Cayman Trench". *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 89, No. 8, 1978.
26. PINET, P.: "Structural Configuration of the Northwestern Caribbean Plate Boundary". *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 82, No. 7, 1971.
27. PINET, P.: "Diapir like features offshore Honduras: Implications Regarding Tectonic evolution of Cayman Trough and Central America: Reply". *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 84, No. 6, 1973.
28. PSZCZOLKOWSKI, A.: "Cretaceous sediments and paleogeography in the western part of the Cuban miogeosyncline". *Acta geologica Polonica*. Vol. 32, No. 1-2, 1982.
29. RYABUKHIN, A. y otros: "Development of the Caribbean Basin as the Western Part of the Tethys". *Reportes del XXVII Congreso Geológico Internacional de Moscú. Coloquio Paleocanografía*, 1984.
30. SOMIN, M. y G. MILLAN: "Geología de los complejos metamórficos de Cuba". Ed. Nauka, Moscú 1984 (En ruso).
31. UCHUPI, E.: "Eastern Yucatan Margin and Western Caribbean Tectonics". *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. Vol. 57, No. 6, 1973.
32. WILSON, H.: "Cretaceous Sedimentation and Orogeny in Nuclear Central America" *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. Vol. 58, No. 7, 1974.

CDU: 543.422.622.346

CARACTERISTICAS DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS CROMOESPINELAS CUBANAS POR EL ANALISIS DE RAYOS X

Ing. Mijail N. Ostrooumov. Instituto de Minas de Leningrado. Lic. Rolando Rodríguez M. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Ing. Andrés Chirino E. Centro de Investigaciones de Lateritas del Norte de Oriente. Lic. Ramiro Lozano P. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

RESUMEN

En este trabajo se expone una metodología roengenométrica a partir de la cual, en las cromoespinelas cubanas se calcula el parámetro de la celda elemental y medianamente éste, el contenido de Cr_2O_3 , Al_2O_3 y otros elementos. Se establece la variación del parámetro de la celda elemental para las cromoespinelas de diferentes partes del macizo Mayarí-Baracoa y en particular en diferentes niveles del yacimiento Mercedita, se observa la distribución de las especies minerales del grupo de las cromoespinelas en los diferentes macizos ultrabásicos del país.

Teniendo en cuenta el futuro desarrollo del país y la ampliación de los trabajos de exploración y explotación de los yacimientos de cromo en el territorio cubano, se recomienda usar esta metodología que tiene grandes ventajas en comparación con el análisis químico-analítico, para la valoración de las particularidades de la composición química de las cromoespinelas y su calidad.

ABSTRACT

This article describes a roentgenometric methology, with the help of which, the elemental-cell parameter was estimated for the Cuban chromium-spinel, and from that parameter it was calculated the content of Cr_2O_3 , Al_2O_3 and other elements.

Variation of the elemental-cell parameter is established for chromium-spinel from different parts of the Mayari-Baracoa massifs, and particularly from different levels within the "mercedita" deposit.

In addition to this, distribution of the various mineral specimens belonging to the chromium-spinel group over different massifs of the country is observed.

Taking into consideration Cuba's future development, as well as, the expansion of exploration and exploitation of Cuban chromium deposits, it is suggested the use of this methodology; since it is highly advantageous one, in comparison with the chemical-analytical analysis, for determination of peculiarities of the chemical composition and quality of chromium-spinel.

INTRODUCCION

Macroscópicamente resulta difícil diferenciar las menas que contienen un alto contenido de cromo de aquellas pobres en éste metal. Por ello, es fundamental determinar la composición química de las mismas, para lo cual se requieren como mínimo de 200-300 g de cada muestra, las cuales deben tomarse en menas diseminadas.

Por lo general, esta operación no puede realizarse rápidamente, además, los análisis químicos requieren de gran cantidad de reactivos y consumen un largo período de tiempo para su realización, por lo que resultan costosos.

Por lo tanto para la revelación de las menas industriales de cromo y la valoración rápida de su calidad se hace necesario disponer de un método de análisis inmediato de detección exacta, que no exija una gran cantidad de las muestras y se realice en corto tiempo. Un análisis con estas particularidades lo constituye la técnica de difracción de rayos x.

Es conocido que para la determinación de la composición química de las especies minerales que son mezclas isomórficas, a menudo se usan sus propiedades físicas. Hace tiempo fue establecido que para las cromoespineladas el parámetro de

la celda elemental es bastante sensible respecto a las variaciones de sus composiciones químicas [10.] Por la investigación de las irregularidades del isomorfismo no es difícil establecer la dependencia exacta de los parámetros de la estructura del mineral con respecto al contenido en él, de uno u otro componente, y después usarlo para caracterizar la composición química del mineral.

Teniendo en cuenta esto, y conociendo la importancia del uso de estas menas en el futuro desarrollo económico del país, el trabajo tuvo como principales objetivos utilizar las mediciones del parámetro de la celda elemental obtenidas por análisis roentgenográfico para investigar la variación de la composición química de las cromoespinelas de los yacimientos cubanos y comprobar varias dependencias entre las características químicas y estructurales de estos minerales. Se realizaron las mediciones del valor del parámetro de la red en cromoespinelas de diferentes yacimientos del territorio nacional con una composición química variada, y se verificó que los mismos guardan una dependencia funcional lineal con respecto al contenido de cromo [5-8].

La determinación exacta de éste parámetro, de la estructura del mineral, nos permite revelar sus propiedades tipomorfas que podrán dar la información necesaria sobre las particularidades de la génesis de las muestras investigadas.

DESARROLLO

Entre los macizos ultrabásicos de Cuba el más destacado por la cantidad y tamaño de las cromitas es el de Mayarí-Baracoa. En los límites de este macizo se encuentran grandes cantidades de yacimientos y manifestaciones de cromo, de las cuales más de cien se concentran en la región de Moa-Baracoa.

Las menas de los yacimientos de esta área no son iguales por su composición. Ellas no se diferencian solamente por la intensidad de diseminación, sino también por la composición química de las cromoespinelas y sobre todo por el contenido de cromo en ellas.

Por los datos geológicos [7] en diferentes partes del macizo Mayarí-Baracoa se establece la zonabilidad de los complejos petrográficos. En la parte occidental del macizo afloran las rocas con mayor composición ultrabásica (complejos dunito-harzburgíticos) mientras que para la parte oriental predominan las rocas más ácidas (harzburgitas, lherzolitas, piroxenitas y rocas de la serie gabro-troctolitas).

Resulta importante el hecho de que con los complejos petrográficos variados estén relacionadas las cromoespinelas de diferentes composiciones químicas. Así, las mismas que están relacionadas con las rocas gabro-troctolíticas, por lo general no son industriales.

Las menas refractarias se ubican por lo general en el horizonte de las harzburgitas, mientras que las

metalúrgicas en el complejo dunito-harzburgítico. Por lo tanto, el trabajo de muestreo fue realizado principalmente en este macizo y en particular en el yacimiento "Mercedita" (en explotación) a diferentes niveles y partes del cuerpo menífero. Además, con vistas a comparación, se tomaron muestras de otros macizos y provincias. En total, fueron investigadas aproximadamente 50 muestras pertenecientes a casi todos los principales yacimientos del país.

A estas muestras les fue realizado un análisis químico y la comprobación de sus contenidos se realizó con la ayuda del análisis por difracción de rayos x. Para el análisis roentgenográfico se utilizó un difractómetro HZG-4, con detector proporcional. La radiación utilizada fue de Co con filtro de hierro, el régimen de trabajo fue de 30 kv con 10 mA y las ranuras usadas fueron de 1,09 mm y de 0,79 mm. Para el cálculo del parámetro de la red se utilizaron los máximos en la región angular comprendida entre los 70° - 130° $20'$, utilizándose un patrón de calibración de cuarzo. Se aplicaron velocidades de registro de $0,5^{\circ}/\text{min}$ y de $1^{\circ}/\text{min}$. Los valores de distancias interplanares y constante reticular fueron calculados con la ayuda de un programa computacional. El error de medición del parámetro de la red fue de 0,0015 - 0,003 Å, que corresponde a los límites de 0,5 - 0,8 % en la determinación del contenido de cromo (Cr_2O_3).

En los resultados obtenidos para los parámetros estructurales de las cromoespinelas reportados por la bibliografía consultada, se nota una falta de concordancia, ya que no existe coincidencia entre ellos. Por ejemplo, en ocasiones se reportan como valores del parámetro de la celda elemental de la cromopicotita y de la magnocromita valores comprendidos entre los límites de los 8,24-8,32 Å y 8,26 - 8,34 Å respectivamente [3], mientras que en otras ocasiones se reporta el valor de 8,18 Å para la magnocromita y entre 8,24 - 8,26 Å para la cromopicotita [3].

A partir de los datos bibliográficos y de aquellos que se generaron de nuestras muestras, pudimos calcular la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación (r)

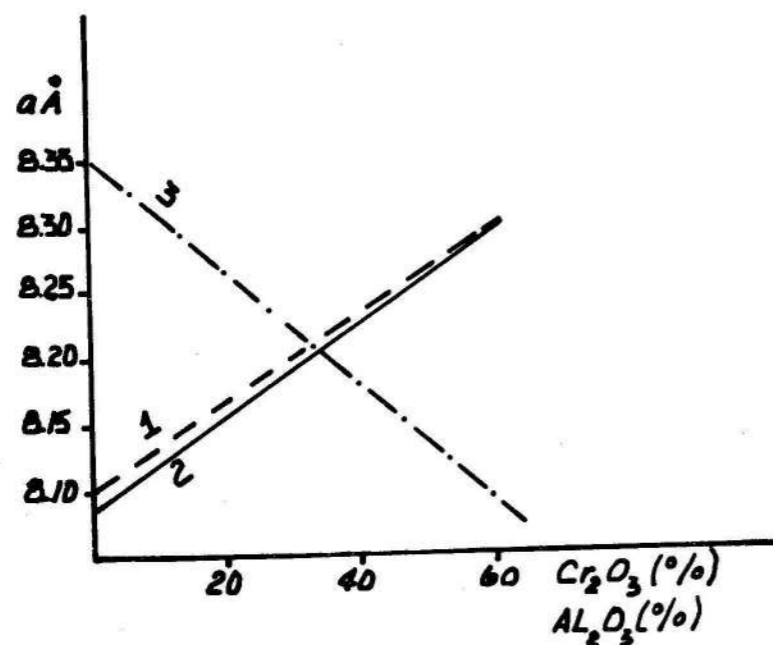


Fig. 1. Dependencia entre el parámetro de la red y el contenido de cromo (1,2) y aluminio (3) en las espinelas cromíferas.

entre el parámetro de la red cristalina (en Å) y el contenido de cromo (en %) en las cromoespinelas. En la figura 1 se puede observar la dependencia lineal.

$$Y = 3,668(10^{-3}) X + 8,082 \quad (1)$$

donde: (Y) es el parámetro de la red y (X) es el contenido de cromo.

Igualmente, y con el objetivo de establecer una comparación, se calculó la ecuación de regresión utilizando los datos de Stevens [10]. la cual resultó ser:

$$Y = 3,271(10^{-3}) X + 8,104$$

Con un coeficiente de correlación $r = 0,995$ y la ecuación de regresión para nuestros datos conjuntamente con los datos de Stevens:

$$Y = 3,324(10^{-3}) X + 8,103$$

con $r = 0,987$

Estas dependencias sirven para la determinación del contenido de cromo en las cromoespinelas. Para ello nosotros recomendamos utilizar la ecuación (1) en las cromoespinelas cubanas, además, consideramos que la dependencia existente entre el parámetro de la red y el contenido de Cr_2O_3 en las cromoespinelas, se puede explicar debido a que en la celda elemental existen 8 unidades, formuladas con la composición AB_2O_4 , donde A corresponde al Mg y B significa el Cr, Al, o bien el Fe^{3+} , Cr, Al, o bien el Fe^{2+} [2]. Los átomos de oxígeno forman un empaquetamiento cúbico donde los cationes del tipo A ocupan una cuarta parte de los espacios vacíos tetraédricos y los cationes del tipo B ocupan la mitad de los vacíos octaédricos.

Como vemos, el parámetro de la red depende fundamentalmente del contenido de cromo en la celda elemental. En la celda misma, por la disminución de los átomos de cromo, los cuales poseen un radio atómico de 0,64 Å, se aumenta la cantidad de átomos de aluminio el cual tie-

ne radio atómico de 0,57 Å (la cantidad de átomos de Fe^{3+} se queda en las muestras analizadas casi constante). Paralelamente a esta sustitución se disminuye el valor del parámetro de la celda elemental. De aquí se supone que la causa del cambio del parámetro de la red en las cromoespinelas sea la sustitución isomorfa de los átomos de cromo y de aluminio en los vacíos octaédricos de la estructura cristalina.

De acuerdo con los datos químicos [7] de las cromoespinelas cubanas, en la celda elemental la cantidad de átomos oscila en los siguientes límites: Cr (2,67-12,01); Al (3,55-12,78); Fe (0,41-0,98); Mg (4,76-6,39); Fe (1,61-3,24). Stevens sobre la base de 200 análisis estableció que en la celda elemental, el Cr varía de 7 a 14 átomos, el Al de 2 a 9, el Mg de 4 a 6, el Fe de 2 a 4 y el Fe de 0 a 2 átomos [10].

De acuerdo con la dependencia lineal entre el contenido de Cr_2O_3 y el parámetro de la red, se puede suponer que hay la misma relación entre la cantidad de átomos de este elemento en la celda elemental y su tamaño, esto se comprueba ya que el coeficiente de correlación entre estas dos características fue de $r = 0,99$ y por ello la Cr-a ecuación de regresión, nos da la posibilidad de calcular x, o sea la cantidad de átomos de cromo en la celda (figura 2, recta 1).

$$Y = 1,64(10^{-2}) X + 8,105 \quad (2)$$

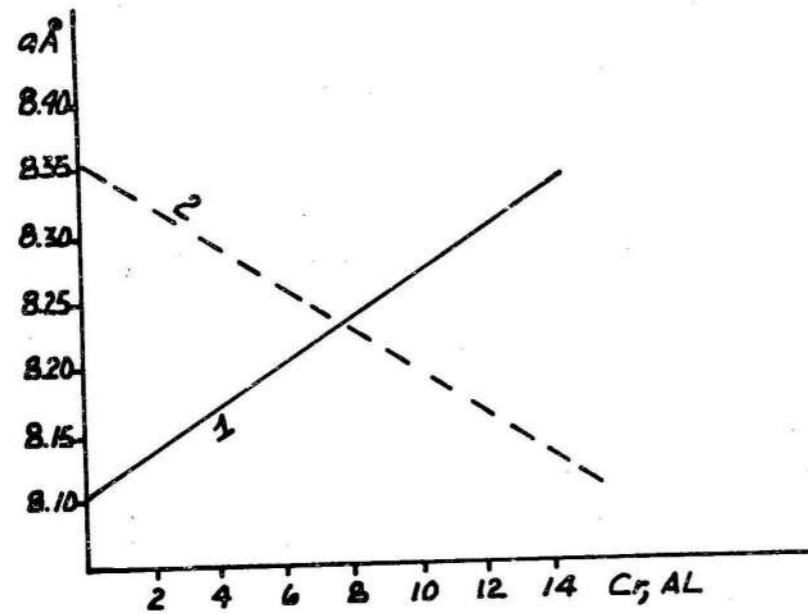


Fig. 2. Dependencia entre el parámetro de la celda elemental y la cantidad en ella de los átomos de Cr(1) y de Al (2).

Para los cálculos siguientes se utiliza una serie de las ecuaciones obtenidas (3-12).

Ecuaciones de regresión:

- Y = -1,66(10⁻²)X + 8,36 (3)
- Y = -0,908 X + 8,687 (4)
- Y = 3,893 X - 2,355 (5)
- Y = -4,44(10⁻³) X + 8,354 (6)
- Y = 5,385 X + 0,163 (7)
- Y = 1,62(10⁻²) X + 8,505 (8)
- Y = 0,151 X + 3,185 (9)
- Y = -8,67(10⁻²) X + 8,727 (10)
- Y = 8,66(10⁻²) X + 8,034 (11)
- Y = 3,132 X + 4,575 (12)

Coefficiente de relación:

- rAl-a = -0,99
- rFe³⁺-a = -0,71
- rAl-Al₂O₃ = 0,99
- rAl₂O₃-a = -0,985
- rFe³⁺-Fe₂O₃ = 0,92
- rMgO-a = -0,93
- rMgO-Mg = 0,91
- rMg-a = -0,75
- rFe²⁺-a = 0,75
- rFe²⁺-FeO = 0,86

Como puede observarse la cantidad de átomos de aluminio también tiene una relación muy estrecha con el parámetro de la red, y por eso, utilizando la ecuación (3) obtuvimos esta característica (recta 2, figura 2). El mismo carácter de las dependencias que están en las figuras 1 y 2, confirma la suposición de que ocurre la sustitución mutua entre los átomos de Cr y Al en la celda elemental y que la misma influye sobre el parámetro estructural. Si la suma de los átomos de Cr y Al no es 16 (cantidad de los átomos del tipo B en la celda elemental), entonces podemos hallar la cantidad de átomos de Fe en la celda elemental restandole a 16 la suma de los átomos de cromo y de aluminio, también puede usarse la ecuación (4). Los contenidos de óxidos se obtienen por las ecuaciones (5) y (7). Es posible calcular el contenido de Al₂O₃ a través de la ecuación (6), puesto que entre el parámetro de la red y el contenido de Al₂O₃ en las cromoespinelas se establece una correlación lineal inversa (figura 1, recta 3).

Por los resultados obtenidos se puede inferir que los átomos del grupo A (Mg, Fe) también tienen relación con el parámetro de la red (ecuaciones 8, 10 y 11). Los cálculos se realizaron a partir de la ecuación (8), ya que el coeficiente de correlación entre los valores de MgO y el primero de la red es mayor en comparación con los demás coeficientes. La cantidad de los átomos de magnesio en

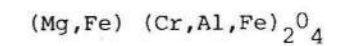
la celda elemental se puede calcular por la ecuación (9) o bien por la (10). Si a la suma de los átomos del grupo A (8 átomos) le restamos la cantidad de los átomos de magnesio, entonces se puede obtener la cantidad de átomos de Fe en la celda elemental.

Resultados similares se pueden obtener a través de la ecuación (11) por último, el contenido de óxido de FeO lo hallamos por la ecuación (12).

Por lo tanto, a partir del cálculo del parámetro de la red por las ecuaciones anteriormente descritas se obtienen todos los datos sobre la composición química de las cromoespinelas.

La comprobación de esta metodología fue satisfactoria para con los grupos A y B (tabla 1).

La fórmula general de las espinelas cromíferas es:



Por la relación cuantitativa de los óxidos Cr₂O₃, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, FeO se determina la calidad de las menas de cromo y la división de las especies minerales en este grupo. Actualmente el grupo de cromoespinelas se divide en las siguientes especies minerales:

- Magnocromita (Mg, Fe)Cr₂O₄
- Cromopicotita (Mg, Fe) (Cr, Al)₂O₄
- Picotita (Fe, Mg) (Al, Cr, Fe)₂O₄
- Ferricromopicotita (Mg, Fe) (Cr, Fe, Al)₂O₄
- Alumocromita (Fe, Mg) (Cr, Al)₂O₄
- Magnoferricromita (Mg, Fe) (Cr, Fe)₂O₄
- Ferricromoespinela Mg(Cr, Al, Fe)₂O₄

TABLA No.1 COMPARACION DE LOS DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANALISIS ROENTGENOMETRICO (1R, 2R, 3R) Y EL QUIMICO (N 1Q, 2Q, 3Q) (7) PARA LAS CRONOESPINALES CON EL MISMO PARAMETRO DE LA RED

Muestra	Contenido de óxido					Cantidad de átomos					
	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	FeO	Cr	Al	Fe ³⁺	Mg	Fe ²⁺	a, Å
1R	41,98	26,72	3,12	15,9	11,87	7,98	7,47	0,55	5,67	2,33	8,236
1Q	42,10	26,91	3,22	16,28	11,49	7,84	7,59	0,57	5,75	2,75	8,236
2R	36,53	31,05	3,18	17,60	11,18	6,77	8,67	0,56	5,89	2,11	8,216
2Q	34,12	34,2	3,21	16,27	12,2	6,22	9,29	0,49	5,64	2,36	8,216
3R	57,79	13,50	2,85	12,71	14,0	11,52	3,98	0,50	4,99	3,01	8,294
3Q	55,67	14,25	2,26	12,55	15,27	11,18	4,31	0,51	4,76	3,24	8,294

La composición química de las cromoespinelas varía entre grandes límites gracias a las variaciones en los contenidos de los componentes isomorfos. Así, por ejemplo, generalizando los datos bibliográficos, el contenido de las componentes principales varía en los siguientes límites (en %): [4-11] :

Cr₂O₃ (18-62); Al₂O₃ (0-45); Fe₂O₃ (2-30)
MgO (6-23); FeO (0-18)

Ahora bien, para el caso de las cromoespinelas cubanas se dan los siguientes contenidos (en %): [4, 7, 9, 11] :

Cr₂O₃ (17,95-59,91); Al₂O₃ (11,67-45,18);
Fe₂O₃ (2,18-3,93)
MgO (12,55-22,65); FeO (10,28-15,27)

Utilizando las dependencias establecidas se consideran las particularidades de la composición química de las muestras analizadas. Como se observa en la tabla 2, todos los yacimientos (Caledonia, Casimba, Estrella de Mayarí) que están en la parte occidental del macizo Mayarí-Baracoa contienen las cromoespinelas con los mayores valores del parámetro de la celda elemental (a=8, 265-8,294 Å) que corresponden con el máximo contenido de cromo y el mínimo de aluminio.

En los yacimientos de la parte extremo oriental de este macizo (Mercedita), se concentran las cromoespinelas con los valores menores del parámetro de la red (a = 8,166-8,218 Å), en las cuales el contenido de cromo disminuye notablemente mientras que el de aluminio aumenta. Los valores intermedios del parámetro de la red lo tienen las cromoespinelas de los yacimientos que están en la posición aproximadamente intermedia entre las partes externas de este macizo, (Cayo Guan, Potosí, Cromita). Por tanto se puede establecer la tendencia en el cambio de la estructura cristalina (disminución del parámetro de la red) de las cromoespinelas en la dirección de oeste este del macizo, y al mismo tiempo, la disminución en ellos del contenido de cromo y el aumento del contenido de aluminio.

TABLA No.2 CARACTERISTICAS DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LOS CRONOESPINELAS CUBANOS DE DIFERENTES MACIZOS (1-DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EL ANALISIS ROENTGENOMETRICO; 2-DATOS BIBLIOGRAFICOS (7,9) DEL ANALISIS QUIMICO Y ROENTGENOESTRUCTURAL)

	A Parte occidental del macizo Mayarí-Baracoa		B Parte oriental del mismo macizo		C Macizo Camagüey		D Provincia Matanzas	
	1	2	1	2	1	2	1	2
a, Å	8,265-8,294	8,27-8,30	8,166-8,218	8,231	8,16-8,22	8,14-8,216	8,231-8,242	
Cr	9,76-11,52	10,83-12,01	3,72-6,89	6,29-7,66	3,35-7,01	2,67-6,22	5,91-7,01	
Al	3,98-5,72	3,55-4,74	8,55-11,68	7,37-8,64	8,43-12,05	8,67-12,78	8,43-9,52	
Fe ³⁺	0,50-0,52	0,43-0,52	0,56-0,6	0,44-0,97	0,56-0,60	0,41-0,55	0,55-0,6	
Mg	4,99-5,33	4,76-5,73	5,88-6,35	5,16-5,97	5,85-6,40	5,43-6,39	5,60-6,07	
Fe ²⁺	2,67-3,01	2,24-3,24	1,65-2,12	2,03-2,84	1,60-2,15	1,61-2,57	1,93-2,40	
Cr ₂ O ₃	49,9-57,79	55,02-59,91	22,9-37,08	31,6-40,51	21,3-37,62	17,95-36,35	40,51-43,62	43,62
Al ₂ O ₃	13,5-20,03	11,67-16,21	30,6-42,3	24,5-39,11	30,15-43,65	29,21-45,18	25,2-27,67	15,01
Fe ₂ O ₃	2,85-2,96	2,18-2,70	3,18-3,23	2,55-5,53	3,18-3,23	2,45-3,93	2,88-3,12	
MgO	12,71-14,56	12,55-15,04	17,55-20,93	14,32-18,22	17,38-21,3	15,57-22,65	16,03-16,73	17,0
FeO	12,94-14,0	10,71-15,27	9,74-11,21	10,67-14,93	9,62-11,3	10,28-13,33	11,68-12,09	14,69

Observaciones: A - Yacimientos Caledonia, Casimba, Estrella de Mayarí; B - Yacimiento Mercedita, Potosí, Cromita, Pilobo; C - Yacimientos Aventura, Martí, Tabaquey; D - Camarioca, Canasí, Guamacara.

En todas las espinelas cromíferas la cantidad de los átomos de Mg predomina sobre la cantidad de los átomos de Fe, pero se puede indicar que en los yacimientos de la parte occidental, las cromoespinelas tienen mayor cantidad de Fe que las cromoespinelas de los yacimientos de la parte oriental. Entre la cantidad de los átomos de Fe en la celda elemental y el parámetro de dicha celda, existe una correlación directa, con $r = 0,753$ mientras que entre la cantidad de átomos de Mg en la celda elemental y el parámetro de dicha celda la correlación es inversa pero con igual coeficiente de correlación que el anterior, o sea, $r = 0,753$.

Teniendo en cuenta que el radio atómico de Fe es $0,80 \text{ \AA}$ y del Mg es $0,74 \text{ \AA}$ se supone que por la sustitución isomorfa del Mg por el Fe, éste va a influir conjuntamente con el cromo sobre el parámetro de la red.

Para el macizo Camagüey el parámetro de la red de las cromoespinelas varía en los límites de $8,16-8,22 \text{ \AA}$, pero la mayoría de los valores están en los límites de $8,202-8,22 \text{ \AA}$ (Yacimientos Martí, Camagüey, Aventura) y solamente algunos tienen bajos valores $8,14-8,16 \text{ \AA}$ (yacimientos Carne-Soltas).

En los yacimientos de la provincia Matanzas (Canací, Camarioca, Guamacara) las cromoespinelas tienen mayores valores ($a = 8,231-8,242 \text{ \AA}$) que las cromoespinelas del macizo Camagüey.

La composición química de todas las muestras analizadas está en la tabla 2, donde también para la comparación, se dan los datos del análisis químico de la bibliografía.

Con respecto a las especies minerales que fueron obtenidas por los datos roentgenométricos y bibliográficos químicos [7] se pueden indicar las siguientes tendencias:

1. En los yacimientos de la parte occidental del macizo Mayarí - Baracoa se concentran las especies, que por su composición pertenecen a la serie cromopicotita-magnocromita y a veces se observa alumocromita.
2. Los yacimientos de la parte oriental del mismo macizo contienen principalmente las cromoespinelas del tipo cromopicotita-picotita. Las mismas especies de las espinelas cromíferas son típicas para los yacimientos del macizo Camagüey y de la provincia Matanzas.

De aquí que los mayores valores del parámetro de la red los tienen las especies cromopicotita-magnocromita y alumocromita, con las mayores cantidades de los átomos de Cr y Fe (mayores radios atómicos) y las menores cantidades de los átomos de Al y Mg (menores radios atómicos). Por el contrario, la picotita, teniendo las menores cantidades de los átomos de Cr y Fe y los mayores de Al y Mg, se caracteriza por tener los menores valores del parámetro de la red.

La posición intermedia entre las especies indicadas lo ocupa la cromopicotita.

El yacimiento "Mercedita" es el más grande en el grupo de los yacimientos del macizo Mayarí-Baracoa. Este yacimiento está asociado con las rocas ultrabásicas (peridotitas) y básicas (gabros). El trabajo de muestreo se realizó en varias partes del cuerpo más grande del yacimiento.

Según los datos obtenidos (tabla 3) de la galería principal, nivel inferior, y cerca de los contactos del cuerpo mineral y la roca encajante, las cromoespinelas tienen los menores valores del parámetro

de la celda elemental, que corresponden a los menores valores del contenido del cromo.

Ya en el nivel superior los valores del parámetro de la red aumentan, paralelamente aumenta también el contenido de cromo (tabla 3), existiendo un enriquecimiento de cromo gradual desde las partes inferiores a las superiores del cuerpo mineral. Es muy importante comprobar esta tendencia para otros yacimientos. Los datos obtenidos como resultado de este trabajo coinciden con los datos químicos que aparecen en los informes de la empresa minera de Holguín y con los de la bibliografía (tabla 3).

TABLA No.3 CARACTERISTICAS OBTENIDAS POR EL ANALISIS ROENTGENOMETRICO PARA VALORAR LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS CROMOESPINELAS DEL YACIMIENTO MERCEDITA

Característica	Nivel inferior del cuerpo	Nivel superior del cuerpo	Datos bibliográficos 4,7 y de los informes de la Emp. Min. Holguín
a, Å	8,179 - 8,202	8,198 - 8,218	-
Cr	4,51 - 5,91	5,67 - 8,89	-
Al	9,52 - 10,9	8,55 - 9,76	-
Fe ³⁺	0,56 - 0,59	0,56 - 20,57	-
Mg	6,06 - 6,32	5,83 - 5,88	-
Fe ²⁺	1,67 - 1,93	2,12 - 2,17	-
Cr ₂ O ₃	26,44 - 32,71	31,62 - 37,08	26,0-37,0
Al ₂ O ₃	34,23 - 39,37	30,6 - 35,10	25,0-34,0
Fe ₂ O ₃	3,18 - 3,33	3,18 - 3,23	3,0-4,0
MgO	18,52 - 19,93	17,55 - 18,95	17,0-22,0
FeO	9,81 - 10,62	11,21 - 11,37	10,0-13,0

CONCLUSIONES

1. Se propone usar las características estructurales de las cromoespinelas para valorar las particularidades de su composición química. La dependencia del parámetro de las cromoespinelas cubanas con respecto al contenido de cromo es lineal directa y con respecto al contenido del aluminio es lineal e inversa (dentro de los límites del error en la determinación del parámetro estructural). Esta dependencia puede ser usada para la determinación bastante exacta (hasta 0,5-0,8 % de Cr_2O_3) y de Al_2O_3 del contenido de cromo y aluminio.
2. Utilizando el sistema de las ecuaciones de regresión es posible calcular el contenido de los demás elementos químicos en las cromoespinelas.
3. El fenómeno del cambio del parámetro de la celda elemental en las cromoespinelas se explica por la sustitución isomorfa de los elementos con los mayores radios atómicos (Cr, Fe) por los elementos con los menores radios atómicos (Al, Mg) y viceversa.
4. Se observa una distribución de las especies minerales del grupo de las cromoespinelas en los diferentes macizos. La especie intermedia, por su composición, entre cromopicotita y magnocromita (a veces, alumocromita) es típica para la parte occidental

del macizo Mayarí-Baracoa. La picotita y la cromopicotita son las especies minerales principales para los yacimientos de la parte oriental del mismo macizo Camagüey, y para los yacimientos de la provincia Matanzas.

5. El parámetro de la celda elemental de las cromoespinelas aumenta del este al oeste en el macizo Mayarí-Baracoa.
6. En el yacimiento "Mercedita" los mayores valores del parámetro de la red y del contenido de cromo lo tienen las cromoespinelas de la parte central y superior del cuerpo y los menores están en el nivel inferior cerca del contacto del cuerpo mineral y la roca encajante.
7. De acuerdo con el valor del parámetro de la red y su uso industrial, las menas de cromo se pueden dividir en metalúrgicas (no menos de 8,27 Å), sales de cromo (8,216-8,218 Å) refractarias (no menos de 8,200 Å) y no industriales (8,11-8,199 Å).
8. El método propuesto tiene grandes ventajas con respecto al método de análisis químico analítico, entre ellas podemos indicar que es más rápido, no exige gran cantidad de muestras, no es necesaria la utilización de reactivos químicos y por tanto es más barato. Tiene el mismo nivel de exactitud que el método de análisis químico, y además no es necesario recalcar la

composición química real de las espinelas cromíferas, debido a que este método permite eliminar la influencia de las inclusiones mecánicas propias de este mineral, en la composición química de las menas cromíticas.

9. Teniendo en cuenta el futuro

desarrollo del país y la ampliación de los trabajos de explotación de los yacimientos de cromo en el territorio cubano se propone usar este método para la valoración de la calidad de las espinelas cromíferas en los yacimientos cubanos.

REFERENCIAS

1. GODOVICOV A.A.: *Mineralogía*. Moscú, Ed. Nedra, 1983.
2. GORLANOV S.S. y Otros: *Cromita. Indicaciones geológicas para la valoración de las materias primas*. Moscú, Ed. Gosgeolizdat, 1963 (ruso).
3. GUILD, P.: "Petrology and structure of the Moa chromite district. Oriente province" en *American Geology Union*, No.2, 1947.
4. PAVLOV N.N. y Otros: "Composiciones de los olivinos y cromoespinelas de las rocas y menas de la formación dunit-harzburgíticas" en *geología de los yacimientos meníferos*. No.2, 1969 (en ruso).
6. PAVLOV N.V. y otros: *Cromitas del macizo Kempirsay*. Moscú, Ed. Ciencias, 1968 (en ruso).
7. PAULOV N.V. y Otros: "Cromífero de las rocas ultrabásicas de Cuba" en *Geología de los minerales útiles de Cuba*. Moscú, Ed. Ciencias, 1973 (en ruso).
8. POZAITOVA M.D.: "Especies minerales de las cromoespinelas de las rocas ultrabásicas de Bulgaria", en *Geología de los yacimientos meníferos*. No.3, 1971 (en ruso).
9. SEMENOV I.L.: "Yacimientos de cromitas de Cuba" en *Revista Tecnológica*. No.3-4 1968.
10. STEVENS, R.: "Composition of some chromites of the western hemisphere" en *American Mineralogy*, V.29, 1944.
11. THAYER T.,P.: "Chrome resources of Cuba" in *Geology Suru Boll*, 1942.