

ma casi constante algo más de un 30 % del aluminio por hierro y magnesio, sin encontrarse entre estos dos últimos elementos relación alguna.

A consecuencia de la sustitución isomórfica de Al por Fe y Mg, se observa una apreciable tendencia a disminuir la fortaleza de la unión de los hidróxilos en la capa octaédrica de acuerdo con la serie Mg-OH → Al-OH → Fe-OH, provocando un corrimiento del mínimo del efecto endotérmico (ca. 625-650 °C) hacia temperaturas menores (inferiores).

Los valores de $d(A^0)$ y las intensidades de los reflejos de difracción basales (001), así como la magnitud del corrimiento de las mismas en las muestras texturadas y saturadas con vapores de etilenglicol, corroboran la presencia de una montmorillonita dioctaédrica cálcica con cierto desordenamiento en los paquetes estructurales.

AGRADECIMIENTOS

A los compañeros del Laboratorio de Química de la Empresa de Geología de Santa Clara por la realización de los análisis químicos, de gran utilidad para este trabajo.

REFERENCIAS

- BRINDLEY, G. W. : The x-ray identification and crystal structures of clay minerals. Moscow, The mineralogical society; 1955.
- BROWN, G. : The x-ray identification and crystal structures of clay minerals. London, The mineralogical society, 1972.
- BULACH A., G. : Berechnung von mineralformal. Leipzig. Verlag F.

Grunstoffindustrie, 1970.

- HENDRICKS S., B. : "Lattice structure of clay minerals" in, Journal Geology, No. 50, p. 276-290, 1942
- HOFMANN, U. y otros : "Struktur und quellung von montmorillonit". Z. Krist. No. 86, p. 340-348, 1933.
- KILMER V., J. y T. ALEXANDER : "Methods of making mechanical analysis of soils", in Soil Sci. No. 68, p. 15-24, 1949.
- MACKENZIE R., C. : "The evaluation of clay minerals composition with particular reference to smectites" in, Silic. Ind. Jan. p. 12-18, 1960.
- MACKENZIE R., C. : "Hydratationseigenschaften von montmorillonit". Ber. deutsch. Keram Ges. No. 41, p. 696-708, 1964.
- MAGDEFRAU, E. y U. HOFMANN : "Kristallstruktur des montmorillonits" Z. Krist. No. 98, p. 289-323.
- MARSHALL C., I. : "Layer lattices" in, Z. Krist. No. 91, p. 433-439, 1935
- Quintana P., R. : "Metodología de investigación mineralógica de lateritas con alto contenido de minerales arcillosos". Reporte de investigación del Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba. No. 1, p. 984.
- ROSS C., S. y B. HENDRICKS : "Minerals of the montmorillonite group", in Prof. Pap. Vo. Geol. Surv., p. 23-79, 1945.
- SCHWIETE H., E. y otros: Der einfluss der art, der kation belegung von montmorillonit auf sein thermische Verhalten. Köln/Opladen, 1962.
- WIEGMANN, J. y H. HORTE, C. : "Eine methode zur analytischen bestimmung und beseitigung organischer bestandteile von tonen und ahnlichen gesteinen sowie boden" und Silikatechnik No. 16 ; p. 120-125, 1965.
- WIEGMANN, J. ; H. HORTE C. y G. KRANZ "Mineralanalytische untersuchungen an glieder der montmorillonitgruppe" und Ber. d. dtsch. geol. wiss. b. miner. la. gerstattef. No. 11, p. 317-342, 1966.

CDU: 550.3 : 543.21 (729.11)

UTILIZACION DEL GRADIENTE TOTAL NORMAL DE LA GRAVEDAD EN EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA PROFUNDA DE LA PROVINCIA PINAR DEL RIO

C. Dr. José A. Díaz Duque, Ing. Aida Beatriz Azze P., Ing. Orestes Díaz V., C. Dr. Guillermo Casarreal V., Centro Universitario de Pinar del Río

RESUMEN

En el trabajo se da una breve explicación de los fundamentos teóricos del método del gradiente total normal de la gravedad, que ha tenido una amplia utilización en el estudio de las particularidades estructurales de las regiones petrogasíferas, sobre todo en la URSS.

Se confeccionó un programa BASIC a partir del algoritmo de Berezkin que permite calcular el gradiente total normal de la gravedad a lo largo de un perfil para diferentes valores de profundidad. El programa se corrió con los datos de dos perfiles regionales trazados transversalmente a la provincia de Pinar del Río.

Los resultados alcanzados en la aplicación del método han permitido ratificar determinadas conclusiones emitidas por algunos autores sobre la estructura profunda de la provincia de Pinar del Río, por otra parte, han permitido perfeccionar los criterios interpretativos del método para las condiciones de la provincia, y además, han servido de apoyo para la explicación de la evolución geotectónica de la Sierra de los Organos.

ABSTRACT

This work provides a brief explanation of the theoretical footings of the total normal gradient of gravity method, which has been widely used in the study of structural peculiarities of the petroleum-gas containing regions, above all, in the USSR.

A BASIC computer program was prepared from the Berezkin algorithm, which allows to calculate the total normal gradient of gravity along a profile for different depth values. The program was implemented with data from regional profiles transversely plotted to the Pinar del Río province.

The results obtained in the implementation of this method have made possible to ratify certain conclusions reached by some authors on the deep structure of the Pinar del Río province. In addition to that, these results have allowed to improve the interpretative criteria of this method for the conditions of this province, and they have also served as a support for the explanation of the geotectonic evolution of the "Sierra de los Organos".

El método de gradiente total normal de la gravedad (GTN) fue propuesto por V. M. Berezkin [2] como una de las transformaciones matemáticas del campo gravitacional, destinadas a la separación de las anomalías observadas. El objetivo central de la aplicación de este método ha sido el estudio de regiones gasopetrolíferas en la URSS. A partir de 1980 el método se introduce en nuestro país con el objetivo de esclarecer algunos aspectos tectónicos de la corteza terrestre en la provincia de Pinar del Río [4] . El método también fue aplicado durante la interpretación de los trabajos gravimétricos en escalas medias en el noroeste de la provincia de Pinar del Río [3] y en la provincia de Camagüey [5] .

El presente trabajo es una continuación del estudio de las aplicaciones del GTN donde se analizan los resultados obtenidos en el procesamiento de dos perfiles regionales de Δg trazados transversalmente a la provincia de Pinar del Río.

Desarrollo

El método del GTN se basa en el cálculo de determinadas funciones tales como GN (x,z) la cual representa al gradiente total normal de la fuerza de gravedad a lo largo de un perfil, para el nivel en que se realizan las observaciones, y para una serie de niveles situados en el semi-espacio inferior (continuación analítica descendente). Este método permite ubicar los puntos característicos del potencial de la gravedad, los cuales desempeñan un

papel esencial en la interpretación de los datos gravimétricos, por cuanto ellos están situados en el contorno o en el interior de las masas perturbadoras.

La función GN (x,z) se calcula por la fórmula:

$$GN(x,z) = \frac{G(x,z)}{GM(x,z)} = \frac{\sqrt{V^2 xz(x,z)} + \frac{1}{M} \sum_0^M \sqrt{V^2 xz(x,z)} + \sqrt{+ V^2 zz(x,z)}}{\sqrt{+ V^2 zz(x,z)}} \quad (1)$$

siendo,

- G(x,z) : gradiente total vertical en el punto (x,z).
 GM(x,z) : valor medio de G(x,z) para un determinado nivel.
 M : número de observaciones en el perfil.

El cálculo de GN(x,z) en diferentes puntos del semiespacio inferior se realiza con la ayuda de la serie de senos de Fourier, e introduciendo un coeficiente para aumentar la precisión del proceso de continuación analítica:

$$\Delta g(x,z) = \sum_{n=1}^N B_n \frac{\pi n x}{L} \frac{\pi n z}{L} \left(\frac{\pi n}{\text{sen } N} \right)^2 \frac{\pi n}{N} \quad (2)$$

donde:

- B_n : coeficiente de la serie de los senos de Fourier.
 n : número de orden del armónico de la serie.
 N : número de armónicos de la serie.
 L : longitud del perfil

A partir de la expresión (2), se

determinan las segundas derivadas del potencial gravitatorio, V_{xz} y V_{zz}, lo cual nos permite conocer la función G(x,z) para cada punto del perfil en cada nivel de profundidad, y su valor medio GM(x,z).

Finalmente, con la expresión (1) se obtiene el gradiente total normal. Por cuanto el proceso de cálculo es matemáticamente engorroso, fue elaborado el programa correspondiente al algoritmo Berezkin en lenguaje BASIC y ejecutado en la microcomputadora NEC del Centro de Cálculo del C.U.P.R.

La representación de los resultados del GTN se realiza por medio de iso líneas en pseudoconductores para diferentes valores de los armónicos de la serie de Fourier.

Alrededor de los puntos característicos, las isolíneas del GN son cerradas, considerándose positivas aquellas cuyos valores son mayores que la unidad y negativas la de los valores menores. Con posterioridad se construye un pseudocorte en el que se representan los puntos característicos para los armónicos estudiados, especificándose los extremos de los mismos, tanto positivos como negativos. Este tipo de representación nos da la posibilidad de identificar las zonas de contacto vertical y horizontal de la gravedad.

Una vez construido el pseudocorte de los puntos característicos, la interpretación se realiza teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. La profundidad del campo anóma-

lo perturbador está relacionada con la posición del punto característico de mayor valor de GTN para un armónico dado.

2. Las regiones de valores elevados del GTN fijan las zonas de contacto.
3. Los centros de los máximos de GTN se desplazan de abajo a arriba según el contacto con el aumento del número de armónicos. La intensidad prácticamente no cambia mientras los máximos se encuentran en los límites de los cuerpos.
4. Las regiones alargadas y verticalmente intensas de GTN se corresponden con los grandes saltos de las densidades.
5. La sustitución de las zonas de gradientes elevados de GTN por zonas de valores pequeños, así como la ruptura intensa o brusca del campo, ocurre en el caso que el centro del máximo se aproxime a la parte superior del cuerpo o salga de sus límites.
6. Una cadena de mínimos de GTN puede ser interpretada como una falla, sobre todo para armónicos elevados.
7. Los máximos que aparecen para un determinado armónico y se mantienen para el resto, hablan de la existencia de estructuras locales enterradas o de elevaciones de bloques del basamento.
8. La posición de los puntos característicos de la función GN fija el centro de las masas anómalas para sus valores máxi-

Estos criterios fueron utilizados para interpretar un perfil que corta de noroeste a sureste la provincia de Pinar del Río y la Isla de la Juventud, con una longitud de 198 km y que está representado en la (figura 1) con el número I. Los valores de Δg de Bouguer fueron tomados del mapa de isofleas para la Isla de Cuba en escala 1:500 000, confeccionado por Soloviev y otros [12]. Los resultados alcanzados en aquel estudio sirvieron para ratificar determinadas conclusiones emitidas por algunos autores sobre la estructura profunda de la pro-

vincia de Pinar del Río [12, 6, 11, 7, 9]; por otra parte permitieron perfeccionar los criterios interpretativos del método del GTN para las condiciones de ésta provincia.

En el trabajo actual fueron seleccionados dos perfiles, con longitudes de 90 y 110 km respectivamente, tomando como base el mapa de los valores de la gravedad en escala 1:250 000 de la provincia de Pinar del Río, trazados transversalmente a la misma [1]. A estos perfiles se les denominó convencionalmente con los números II y III (fig. 1)

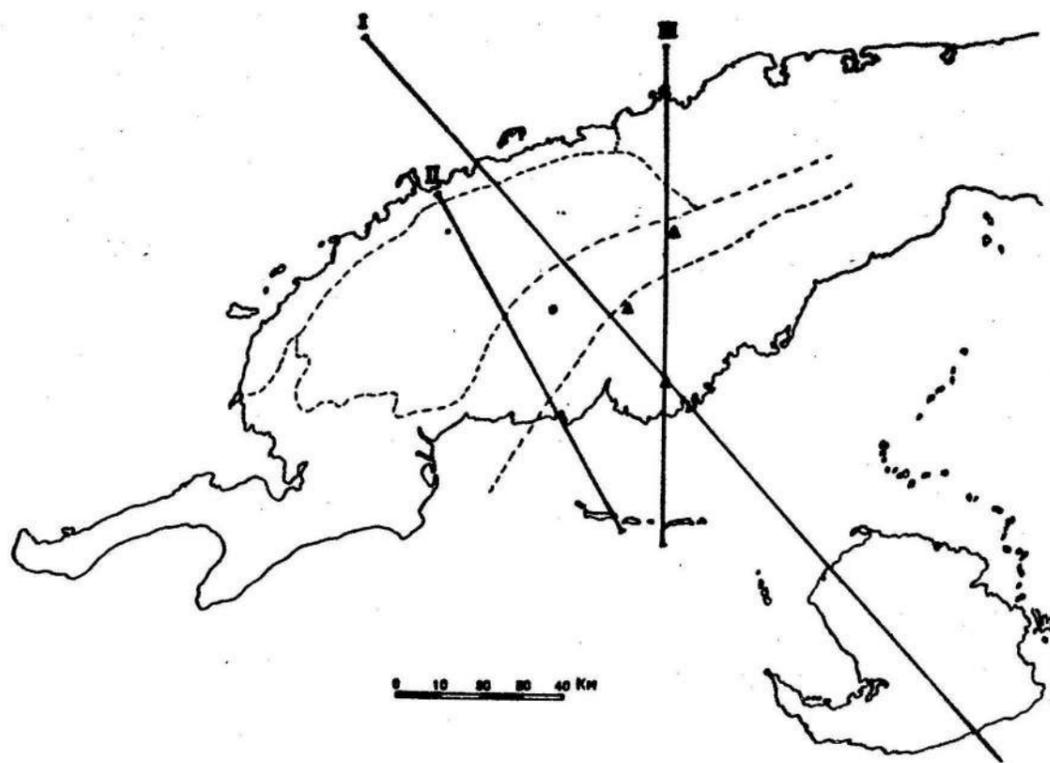


Fig. 1 Ubicación de los perfiles regionales por el GTN en la provincia de Pinar del Río

El perfil II, con longitud igual a 90 km, está trazado en dirección NO-SE y comprende en el plano desde el poblado de Santa Lucía hasta Cayo la Vigia. El perfil III con longitud igual a 110 km está trazado con dirección N-S, y se extiende desde Media Legua hasta Cayo del Perro. La digitalización del mapa de isofleas se realizó cada 1 cm, lo que equivale a 2,5 km según la escala del mismo.

Los valores de Δg de Bouguer en los perfiles de referencia fueron procesados con el programa GRADNOR, con una continuación analítica descendente hasta 30 km de profundidad, em-

pleando cuatro armónicos diferentes 10, 20, 30 y 40.

Los resultados obtenidos por el procesamiento de cada armónico se representaron en formas de gráficos del campo GN en un sistema de isofleas con intervalo de 0,2 unidades. Estos pseudocortes permiten determinar la posición de los puntos característicos para cada perfil. Las isofleas que comprenden los puntos característicos son cerradas, considerándose como puntos positivos aquellos cuyos valores del GTN son mayores que la unidad y negativos aquellos en los que el GTN es menor que la unidad.

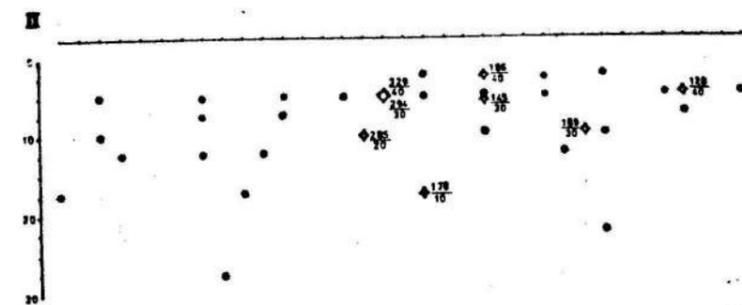


Fig. 2 Seudocortes con los puntos característicos (perfil II)

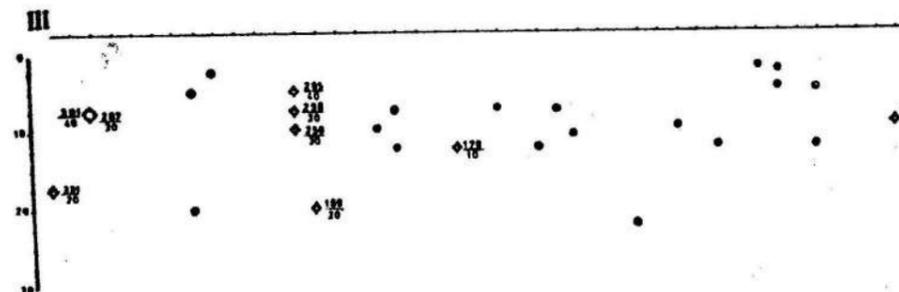


Fig. 3 Seudocortes con los puntos característicos (perfil III)

De esta forma se construyen los seudocortes con los puntos característicos para todos los armónicos (fig 2, 3).

Teniendo en cuenta los criterios interpretativos del método y fundamentalmente el hecho de que las regiones de valores elevados del GTN fijan las zonas de contacto, por otra parte, que los máximos que aparecen para un determinado armónico se mantienen para el resto hablan de la existencia de estructuras locales enterradas o de elevaciones de bloques del basamento, puede verse claramente en ambas figuras la posición de la falla Pinar y de zonas de bloque de la corteza.

Un aspecto interesante es el hecho de que la zona de los puntos característicos se concentra en las profundidades entre los 6 y 13 km, y además algunos en profundidades entre 2 y 4 km, lo que concuerda precisamente con las profundidades de los espesores sedimentarios fijadas por datos sísmicos [8 y 10].

CONCLUSIONES

Los esquemas de distribución de las anomalías del GTN permiten precisar las posibles posiciones de los contactos verticales y horizontales de la densidad, a partir de los criterios mencionados anteriormente. Es de destacar que, como en la interpretación de datos geofísicos en general, la fiabilidad de esa interpretación depende en gran medida de la información geólogo geofísica que se posea.

Un factor desfavorable para

nuestra interpretación geológica fue el no disponer de la generalización en la variación de la densidad con la profundidad para las diferentes capas o espesores de rocas en la zona de estudio, lo cual hubiese permitido la creación de un modelo físico-geológico y el cálculo correspondiente del GTN en él. Esta limitante pensamos pueda superarse con el avance de los trabajos geofísicos que se realizan en la actualidad en nuestra provincia para la búsqueda de petróleo y gas.

Consideramos que lo más importante radica en que la correlación de los resultados obtenidos por el GTN, con la información geológica existente permite esclarecer algunas regularidades en cuanto a la manifestación del GTN en las estructuras conocidas, y este a su vez facilita proponer la posición de otras estructuras en zonas donde la información geólogo-geofísica no es suficiente. Esto amplía el conocimiento geológico de las áreas de estudio.

Referencias

1. ALVAREZ S., H. : "Síntesis de la evolución geotectónica de la Sierra de los Organos apoyada en el estudio de la geología del Valle de Pons. Trabajo de Diploma. Centro Universitario Pinar del Río, 1981.
2. BEREZKIN V., M. : "Ispolzovanie pol novo vertical novo gradienta silitia-cherti dlia apredelenia glubini do is tochnikov gravitacionnij, Razvedochna ya geofizica. N. 18, p. 69-79, 1967
3. CASARREAL V., G. : "Investigaciones gravimétricas para el estudio de estructuras geológicas y campos meniferos". Tesis para la obtención del grado de Candidato a Doctor en Ciencias (En ruso). Leningrado, 1985.

4. DIAZ D., J. A. : Utilización del gradiente total normal de la fuerza de gravedad para el estudio de la estructura de la corteza terrestre en la provincia de Pinar del Río. Primer Foro Científico-Técnico, Centro Multisectorial de Información Científico Técnica de Pinar del Río, Academia de Ciencias de Cuba, 1980.
5. FEBLES, D. : Estructura profunda y perspectivas para la búsqueda de cromitas del macizo de rocas ultrabásicas de Camagüey (Cuba) por datos geofísicos. Tesis para la obtención del grado de Candidato a Doctor en Ciencias (En ruso). Leningrado, 1983.
6. IPATENKO, S. y otros : "Empleo de la exploración gravimétrica para estudiar la estructura de la corteza terrestre de la Isla de Cuba y territorios adyacentes", en Revista Tecnológica. No. 1, p. 40-46, 1971.
7. ITURRALDE-VINENT, M. : Los movimientos tectónicos en la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba. Informe científico técnico No. 20. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba, 1977.
8. LOPEZ R., J. y otros : Esquema general de la constitución geológica de la mitad occidental de la provincia Pinar del Río. Centro Universitario de Pinar del Río, 1986.
9. PSZCZOLKOWSKI, A. y otros : Texto explicativo del mapa geológico a escala 1 : 250 000 de la provincia Pinar del Río. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba, 1975.
10. RODRIGUEZ, R. y J. LOPEZ RIVERA : Esquema general de la constitución geológica de la mitad occidental de la provincia Pinar del Río. Debate científico sobre tectónica de Pinar del Río. Centro Universitario de Pinar del Río, 1986.
11. SCHERBAKOVA B., Y. y otros : "Crystal structure in west Cuba" in international Geology Review. No. 20, p. 1125-1130, 1978.
12. SOLOVIEV, O. y otros : "Comentarios sobre el mapa gravimétrico de la Isla de Cuba", en Revista Tecnológica. No. 2, p. 8-19, 1964.