

Carácter oscilatorio de la geodinámica endógena reciente en zonas sismogeneradoras cubanas*

**José R. HERNÁNDEZ SANTANA,

***María E. MÁRQUES TABLÓN,

****D. A. LILIENBERG,

***José RUEDA PÉREZ,

**Rodolfo GONZÁLEZ ORTIZ,

y **Armando VENEREO MORALES

RESUMEN. *Las investigaciones morfoestructurales y geodinámicas realizadas en la zona sismogeneradora de articulación entre la depresión "graben" de Santiago de Cuba y la meseta monoclinial de Boniato revelaron el carácter oscilatorio de los movimientos tectónicos recientes durante los años 1983-1985, quedando comprobado, una vez más, el sistema objetivo de interacción dinámica "morfoestructuras - movimientos tectónicos recientes - sismicidad". Los resultados de la renivelación geodésica de alta precisión arrojaron valores de ascenso de hasta +3 mm/mes, entre 1982/83 y 1983/84, para la meseta monoclinial de Boniato, y de descenso de hasta -2,5 mm/mes, entre 1983/84 y 1984/85, mientras que en la depresión "graben" de Santiago de Cuba los valores oscilaron entre 0-0,5 mm/mes para ambos periodos. De esta manera se manifiesta una estrecha correspondencia entre la diferenciación morfoestructural del territorio y el carácter oscilatorio de la magnitud y la tendencia de la geodinámica endógena secular a lo largo de la zona sismogeneradora más importante de la tierra firme de Cuba suroriental, lo cual en el futuro constituirá uno de los elementos fundamentales del conjunto de indicadores necesarios para la elaboración de las bases del pronóstico sísmico.*

INTRODUCCIÓN

El territorio suroriental de Cuba se caracteriza por su notable diferenciación morfoestructural, por la intensidad de sus manifestaciones sísmicas, por la estrecha y compleja correlación entre éstas y la magnitud y sentido de la tectónica reciente de la corteza terrestre, y por el carácter activo de la geodinámica de los procesos exógenos en la formación del relieve.

El estudio de los movimientos tectónicos recientes en este territorio comenzó en los años comprendidos entre 1971 y 1973, por

*Manuscrito aprobado en mayo de 1986.

**Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba.

***Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía.

****Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la URSS.

iniciativa de los institutos de geografía de las academias de ciencias de Cuba y de la Unión Soviética, y el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Durante todo este período se han obtenido datos muy importantes sobre la geodinámica endógena reciente.

Las investigaciones realizadas en Cuba oriental, específicamente en el territorio estudiado, arrojaron una estrecha correlación entre los movimientos verticales lentos, los sísmicos rápidos y las morfoestructuras de diferente rango; y reflejaron el fuerte contraste de la tectónica reciente del mismo. Estos resultados la caracterizan como modelo de región geodinámica en Cuba. Por eso, las perspectivas del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, y de los institutos de Geografía y de Geofísica y Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba son la planificación de la ampliación de la red de nivelaciones repetidas de alta precisión, y del servicio sismológico en la región de Santiago de Cuba, como objetivo de estudio de los movimientos recientes (LILIENBERG *et al.*, 1977).

En esta región, la más sismoactiva de Cuba, se encuentra la segunda ciudad del país, capital provincial de Santiago de Cuba, con una población de varios centenares de miles de habitantes. Desde el punto de vista geodinámico y morfoestructural, es especialmente desfavorable su posición geográfica, ubicada en el borde septentrional de la joven depresión "graben", superpuesta transversalmente sobre el sistema montañoso de la Sierra Maestra, lo cual origina grandes tensiones en la corteza terrestre. La ciudad está ubicada entre el talud insular septentrional de la fosa profunda de Bartlett, al S; la meseta de Boniato y su articulación con la depresión graben, al N; y las estribaciones noroccidentales del macizo montañoso de la Gran Piedra, al NE. En toda esta región, y fundamentalmente a lo largo del sistema de la falla de transformación de Bartlett, en las acuatorias, y de la falla Boniato, en tierra firme, ocurren innumerables terremotos, en su mayoría de carácter superficial.

Todos estos resultados fundamentaron de forma objetiva el establecimiento, en 1980, del polígono geodinámico en Cuba y uno de los primeros en América Latina, con el objetivo principal de establecer las bases teóricas y metódicas del pronóstico sísmico, entre otros fines.

METÓDICA DE LAS INVESTIGACIONES GEODINÁMICAS COMPLEJAS

En 1981, el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía y el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba realizaron una evaluación morfoestructural del territorio del polígono geodinámico de Santiago de Cuba, con vistas al establecimiento de la red geodésica especial. Este estudio permitió una correcta distribución de las líneas de nivelación de 1ro y 2do órdenes, así como la ubicación de los signos geodésicos en los lugares de interés geólogo-estructural, morfoestructural y en correspondencia con las zonas de mayor actividad sísmica, con el objetivo de obtener datos de alta precisión sobre la geodinámica reciente de la corteza terrestre en esta región.

La red geodésica está constituida por 400 km de línea de nivelación de 1er orden y 182 km de líneas de 2do orden, distribuidas en 13 líneas de 1er orden y 8 líneas de 2do orden. En el presente trabajo se analizan los primeros resultados de la nivelación geodésica repetida en las líneas siguientes: Dos Caminos - Puerto Boniato - Quintero - Moncada - Versalles - Siboney; Moncada - Siboney (circuito norte); y Quintero - Castillito - Loma La Cruz - Los Guaos (Fig. 1).

Para obtener resultados óptimos y de valores precisos de alta confiabilidad se construyeron signos geodésicos de gran perdurabilidad, de alta estabilidad y resistencia, con lo cual fue posible registrar los desplazamientos verticales inherentes a la componente tectónica, excluyéndose, prácticamente, la influencia hidrogeológica, biológica, erosiva,

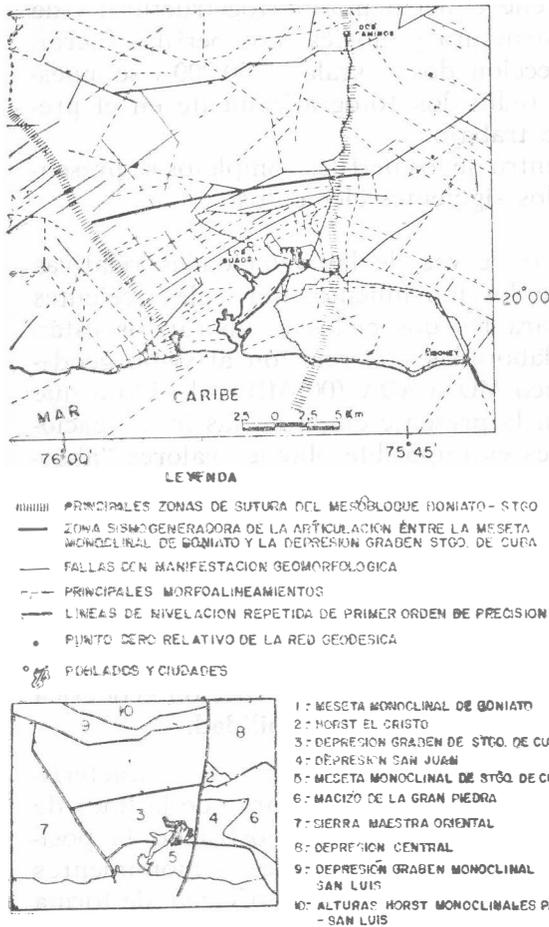


Fig. 1. Esquema morfotectónico de ubicación de las líneas de nivelación repetida de alta precisión.

antrópica y de todos aquellos factores que provocan variaciones en la posición altimétrica de los signos, ajenos a la geodinámica endógena reciente. De esta forma, en el polígono geodinámico se construyeron signos geodésicos estables, con las siguientes características constructivas:

a) Monumento utilizado en zonas de subsuelo no arcilloso. Su profundidad depende de la yacencia del substrato rocoso. En los casos en que no alcanzó el mismo, su profundidad llegó a los 2 m, quedando monumentado debajo de la superficie

terrestre y convenientemente resguardado por la cajuela protectora.

- b) Monumento proyectado para las zonas con suelos arcillosos y pantanosos, donde el monumento quedó protegido por un relleno impermeable, debajo de la superficie terrestre y cubierto por la cajuela protectora.
- c) Monumento establecido en un afloramiento rocoso, cubierto por la caja protectora.
- d) Monumento utilizado en zonas de subsuelo no arcilloso. Su profundidad es tal que alcanza la roca firme, y la parte superior del mismo queda por encima de la superficie del terreno, resguardado por la cajuela protectora.
- e) Chapa de 9 cm de diámetro con una semiesfera de 2 cm de diámetro en su centro, con el objeto de hacer más puntual y coincidente la posición de la mira. La chapa tiene grabados los elementos de su designación.

Con el establecimiento de la red geodésica especial se iniciaron en 1982 los ciclos de nivelación repetida en las líneas geodésicas, y fundamentalmente en las zonas sismoactivas con una periodicidad anual, en 1982-1983, 1983-1984 y 1984-1985.

Las nivelaciones fueron realizadas con instrumentos de alta precisión y con buenas condiciones técnicas, dentro de las exigencias actuales para este tipo de observaciones geodésicas.

En las nivelaciones se utilizaron N-3 ("Wild"), destinados exclusivamente para los trabajos del polígono geodinámico. Estos niveles poseen las características técnicas siguientes:

- a) Error medio cuadrático en 1 km de nivelación doble $\pm 0,2$ mm
- b) Aumento de antejo X 42
- c) Abertura libre del objetivo 50 mm

- d) Campo visual a 100 m 1,80 m
- e) Enfoque mínimo 2,15 m
- f) Constante de multiplicación 100
- g) Constante de adición -20 cm
- h) Longitud 297 mm
- i) Sensibilidad del nivel tubular
..... 10 seg/2 mm
- j) Precisión del centrado del nivel tubular
..... 0,25 seg
- k) Sensibilidad del nivel esférico .. 4½ mm
- l) Micrómetro de placa planoparalela con
lectura óptica 10 mm (recorrido) 0,1 mm
..... Int.-0,01 mm Apr.

Las nivelaciones se ejecutaron con la ayuda de una regla de estadía invar graduada. La estadía tiene dos escalas desplazadas, una con respecto a otra en 2,5 mm. Los trazos de las escalas tienen un grosor de 2 mm; las distancias entre los ejes de los trazos es de 5 mm. Una escala (principal) está cifrada de 0 hasta 60 y la otra (complementaria) de 60 hasta 119. El error del intervalo del metro no sobrepasó $\pm 0,10$ mm. La estadía tiene adherido un nivel esférico con el valor de una división de 10-12 min en 2 mm. La tensión en la placa invar es de 20 ± 1 kg.

Los niveles y las estadías fueron analizados y comprobados con el objetivo de establecer sus aptitudes para la nivelación de 1er orden, y llevarlos a condiciones óptimas de trabajo y determinar sus constantes.

Una vez realizadas las nivelaciones y calculadas las diferencias altimétricas para los distintos ciclos, se confeccionaron los perfiles complejos de los movimientos tectónicos recientes (Figs. 2, 3, 4).

El objetivo fundamental de la confección de los perfiles complejos es mostrar las regularidades de la diferenciación espacial de los movimientos verticales lentos, a lo largo de la línea de nivelación repetida en interrelación con las particularidades fundamentales

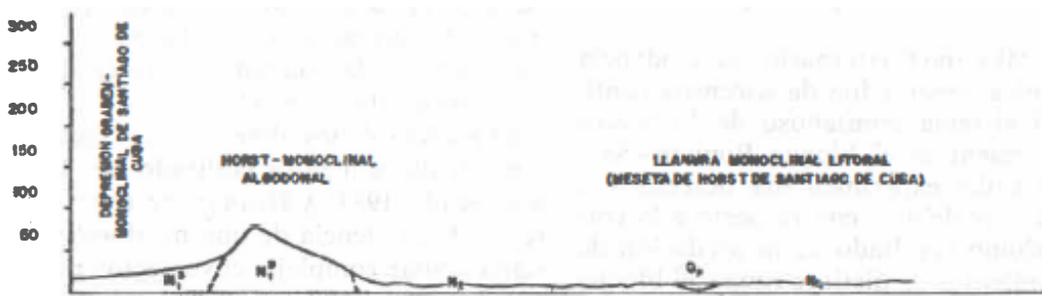
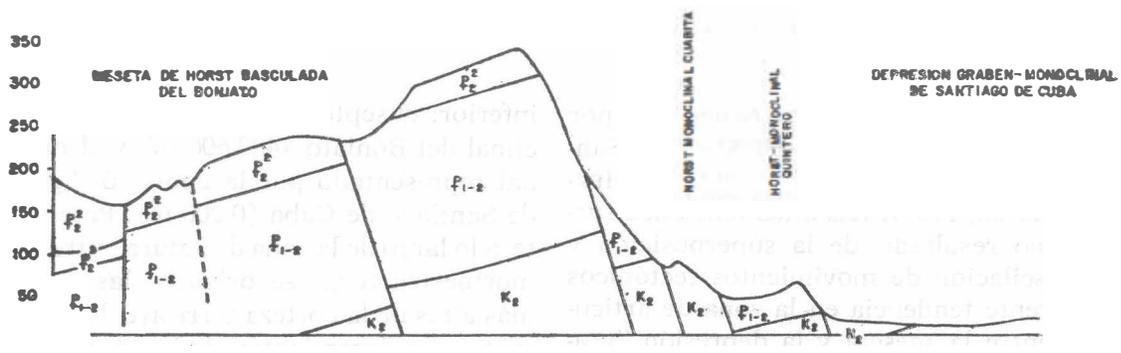
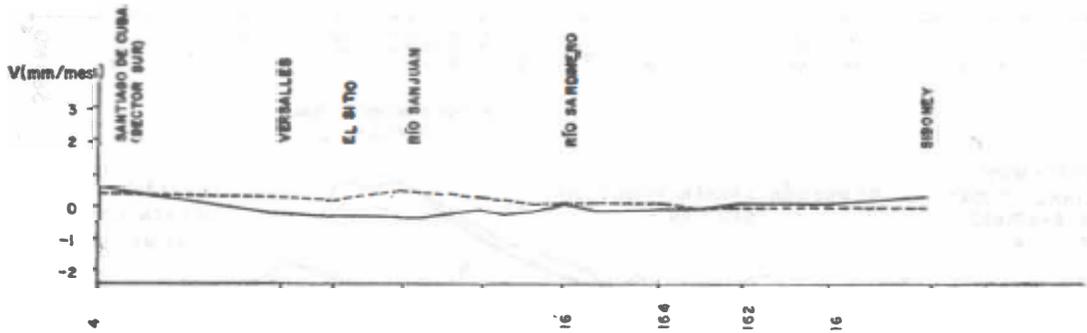
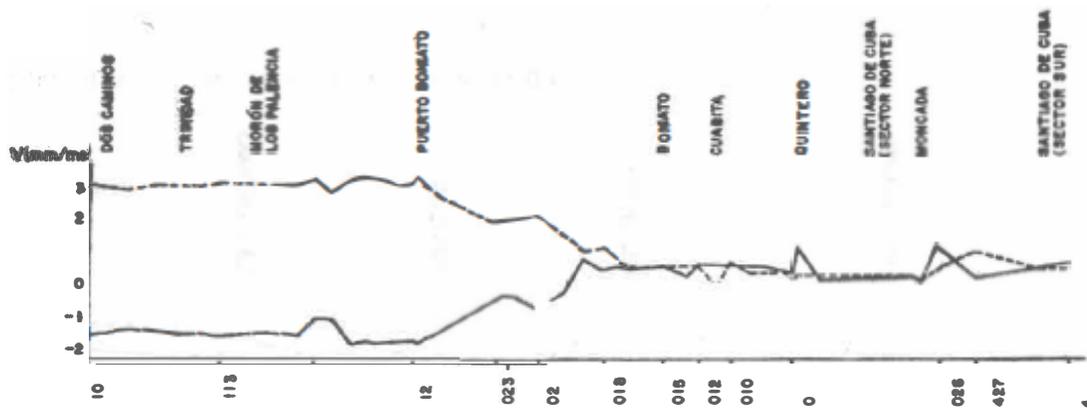
del relieve, del plano morfoestructural y de la estructura geológica. Los perfiles fueron confeccionados a escala 1:100 000 y se muestran reducidos fotográficamente en el presente trabajo.

Dentro de los perfiles complejos se presentan los siguientes elementos:

- a) Las curvas de las velocidades relativas de los movimientos verticales recientes para los dos ciclos comparativos están elaboradas con relación al signo geodésico MONCADA (001MD₁), debido a que en la presente etapa de las investigaciones es imposible obtener valores "absolutos" de las velocidades de los movimientos por la ausencia de observaciones mareográficas de largo período.
- b) La estabilidad y la descripción de los signos geodésicos, en el eje de las abscisas, mediante símbolos especiales, que representan el tipo de construcción geodésica y el grado de su estabilidad.
- c) El perfil topográfico con las características del relieve a lo largo de la línea de nivelación repetida, mostrando la posición geomorfológica de los monumentos geodésicos. Además se ofrecen, de forma rotulada y por encima del mismo, las características del plano morfoestructural.
- d) El perfil geológico, indicando las edades de los complejos litoestratigráficos, las fracturas y fallas de distinto rango y los límites de los elementos estructurales de diferente tipo.

RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE LA PERIODICIDAD DE LA GEODINÁMICA ENDÓGENA SECULAR

Uno de los nudos principales de las tensiones geodinámicas recientes de la corteza terrestre es el mesobloque transverso-diagonal



LEYENDA

- Curva de las velocidades relativas de los mov. tectónicos recientes del periodo 82/83 - 83/84
- Curva de las velocidades relativas de los mov. tectónicos recientes del periodo 83/84 - 84/85.
- Símbolos geodésicos especiales altamente estables.
- Edoes de las formaciones geológicas
- Fallas morfolineamientos

Fig. 2. Perfil complejo de los movimientos tectónicos recientes por la línea de nivelación repetida Dos Caminos - Santiago de Cuba - Siboney.

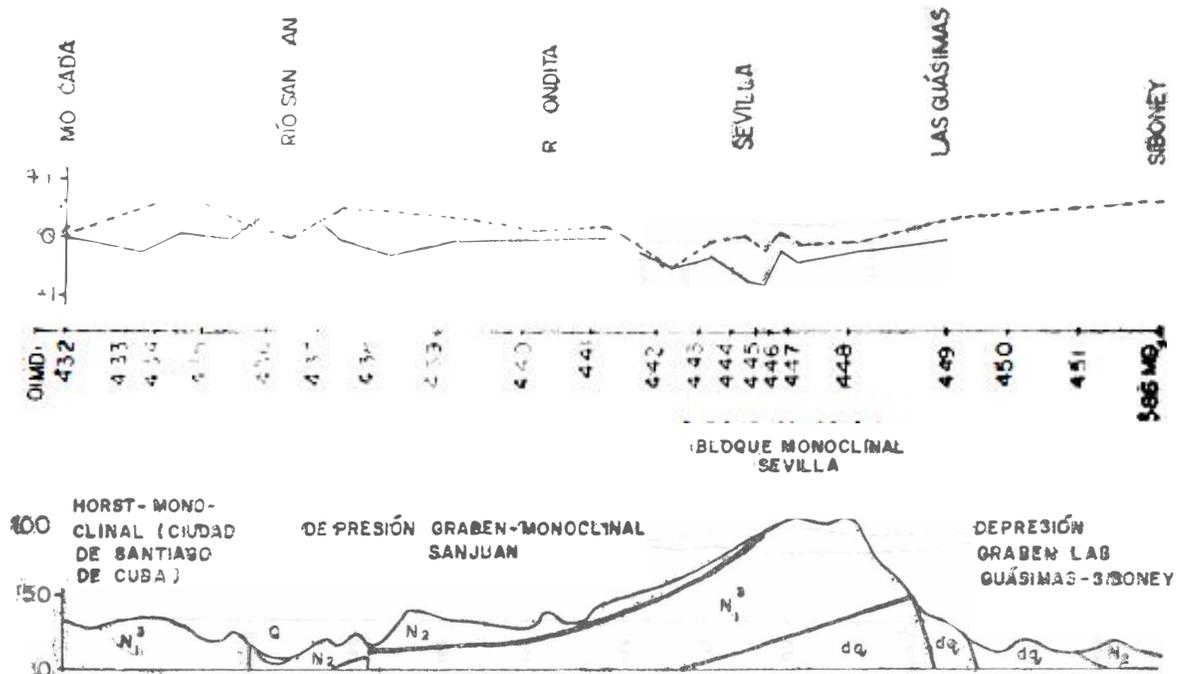


Fig. 3. Perfil complejo de los movimientos tectónicos recientes por la línea de nivelación repetida Moncada - Sevilla - Siboney.

Santiago de Cuba - Boniato, compuesto por la meseta del Boniato y la depresión de Santiago de Cuba (LILJENBERG *et al.*, 1984; HERNÁNDEZ *et al.*, 1986). Las altas tensiones surgen como resultado de la superposición y de la oscilación de movimientos tectónicos de diferente tendencia en la zona de articulación entre la meseta y la depresión "graben".

En el Mioceno-Cuaternario, la tendencia geodinámica general fue de ascensos continuos del sistema montañoso de la Sierra Maestra, mientras el bloque Boniato - Santiago de Cuba experimentaba descensos o ascensos muy débiles con respecto a la cordillera. Como resultado de la oscilación de los movimientos de distinto rango, el bloque transversal se estabilizó relativamente con relación a los ascensos generales de la Sierra Maestra, y en el relieve actual se manifiesta como su parte más deprimida.

El bloque transversal está integrado por dos bloques morfoestructurales de orden

inferior: el septentrional es la meseta monoclinial del Boniato (400-600 m) y el meridional representado por la depresión "graben" de Santiago de Cuba (0-200 m). Precisamente, a lo largo de la zona de sutura entre ambas morfoestructuras se originan las tensiones más altas de la corteza terrestre, los contrastantes desplazamientos de los distintos bloques y la formación de las fallas sismoactivas, tanto en la componente vertical como en la horizontal (Fig. 1).

El análisis de los alineamientos tectónicos y morfoalineamientos realizado por LILJENBERG *et al.* (1984) y HERNÁNDEZ *et al.* (1985) reveló la existencia de una morfoestructura semicircular compleja, cuyo sector meridional se extiende a lo largo del talud septentrional de la fosa profunda de Bartlett. El borde septentrional de esta compleja estructura está formado por los sistemas de distinta orientación de Baconao - El Cristo (macizo de la Gran Piedra) - Pelado - Boniato

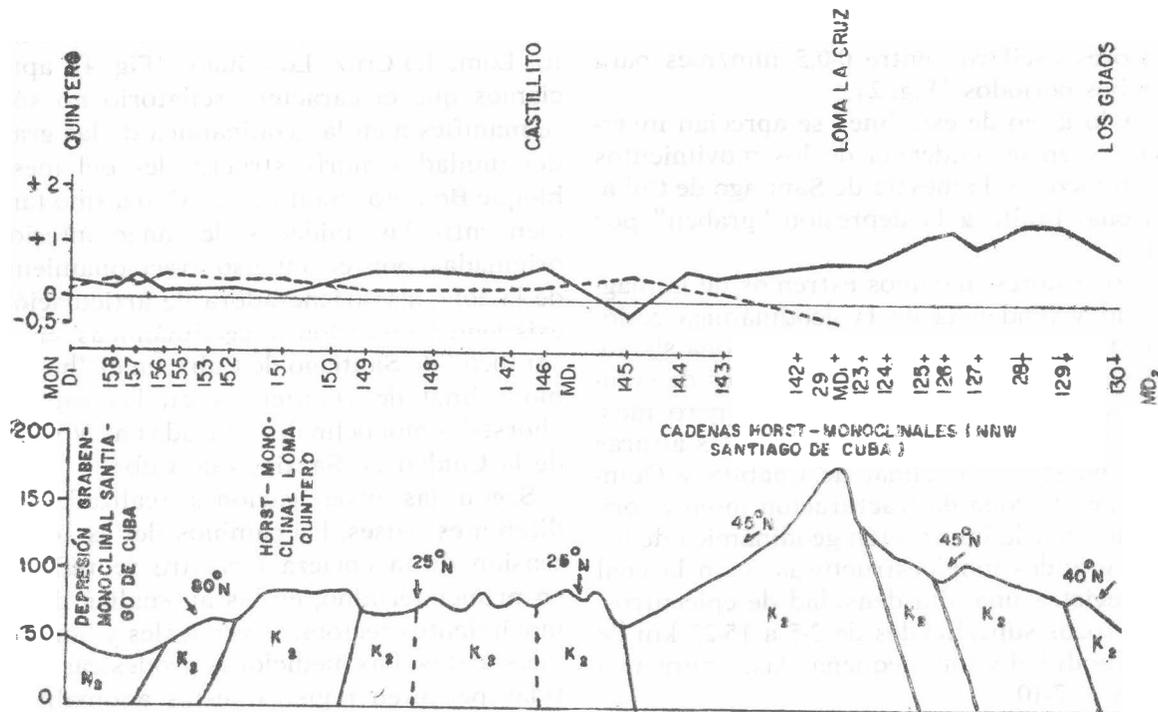


Fig. 4. Perfil complejo de los movimientos tectónicos recientes por la línea de nivelación repetida Quintero-Loma La Cruz-Los Guaos.

(bloque superpuesto Boniato-Santiago) y El Cobre (Siera Maestra oriental).

Esta compleja superposición de morfoestructuras de diferente tipo, edad y tendencia condiciona un estado tenso-deformativo en la corteza terrestre y un alto contraste de los movimientos, lo cual caracteriza a este territorio como el segundo nudo morfoestructural y geodinámico en Cuba oriental, después de la zona de sutura entre la "Microplaca Cubana" y la Placa Caribe, representada por el sistema de la falla de transformación con desplazamiento de izquierda de Bartlett.

Los cálculos geodésicos y los perfiles complejos sobre la geodinámica reciente permitieron conocer que durante los últimos 10-20 años, la morfoestructura transversal superpuesta de Boniato - Santiago de Cuba experimenta una inversión de los movimientos hacia ascensos de +3 mm/año y más, lo cual representa una anomalía de los mismos con

relación al plano morfoestructural y a la tendencia de la geodinámica durante la etapa neotectónica de desarrollo del relieve.

Los resultados de las nivelaciones en las líneas Dos Caminos - Boniato - Quintero - Moncada - Versalles - Siboney (Fig. 2); Moncada - Siboney (circuito norte) (Fig. 3) y Quintero - Castillito - Loma La Cruz - Los Guaos (Fig. 4) muestran el carácter oscilatorio de la geodinámica endógena y su alta correspondencia con el plano morfoestructural y los elementos estructurales sísmoactivos, quedando demostrado, una vez más, la existencia del sistema interactuante "morfoestructuras - movimientos tectónicos recientes - sismicidad".

Los resultados de la renivelación geodésica de alta precisión arrojó valores de ascenso de hasta +3 mm/mes entre 1982/83 y 1983/84 para el bloque de la meseta monoclinial de Boniato, y de descenso hasta -2,5 mm/mes entre 1983/84 y 1984/85, mientras que en la

depresión "graben" de Santiago de Cuba los valores oscilaron entre 0-0,5 mm/mes para ambos periodos (Fig. 2).

A lo largo de esta línea se aprecian inversiones en la tendencia de los movimientos tectónicos en la meseta de Santiago de Cuba, la cual limita a la depresión "graben" por el S.

Los valores máximos extremos de la magnitud y tendencia de la geodinámica endógena se registran a lo largo de la zona sismogeneradora de Boniato, con ajustes de compensación, de menor intensidad, pero mostrando el carácter oscilatorio, en las alturas de "horsts"-monoclinal de Cuabita y Quintero, en la zona de fracturación intensa, originada por la interacción geodinámica de los dos grandes morfoestructuras, y en la cual se registra una alta densidad de epicentros, con focos superficiales de 2-5 a 15-25 km de profundidad y una pequeña clase energética de $K \leq 7-10$.

El carácter subcortical de los terremotos en esta región indica la existencia de un proceso de intensa formación reciente de fallas, con desplazamientos verticales seculares oscilatorios y liberación de energía sísmica.

En el sector oriental del perfil se destaca la actividad reciente de los morfoalineamientos del Río Sardinero y del Río Justici, los cuales en ambos periodos regulan el carácter de los movimientos entre los diferentes bloques transversales, en que se encuentra dividida la meseta costera de Santiago de Cuba.

La diferenciación morfoestructural de carácter local, del sector oriental de la depresión "graben" Santiago de Cuba, queda claramente expresada en la inversión de los movimientos tectónicos recientes en el "horst"-monoclinal, sobre el cual descansa la ciudad de Santiago de Cuba y en el "graben" ocupado por las llanuras fluviales del río San Juan (Fig. 3). Hacia el E, toda la zona de articulación entre la depresión y la meseta costera mantiene una tencia estable de la geodinámica con variaciones de 0,2-0,8 mm/mes entre ambos periodos.

Si analizamos el perfil Quintero - Castillito - Loma La Cruz - Los Guaos (Fig. 4), apreciamos que el carácter oscilatorio no sólo se manifiesta en la geodinámica de las grandes unidades morfoestructurales del mesobloque Boniato - Santiago de Cuba, sino también entre las unidades de rango inferior, originadas por el intenso fraccionamiento de la zona sismogeneradora de articulación, existiendo inversiones geodinámicas en el "graben" de Santiago de Cuba, en el "horst"-monoclinal de Quintero y en las cadenas "horsts" - monoclinales ubicadas al N y NW de la Ciudad de Santiago de Cuba.

Según las investigaciones realizadas en diferentes países, los cambios del estado de tensión de la corteza terrestre se reflejan, en primer término, en las anomalías de los movimientos tectónicos verticales y horizontales lentos. Las mediciones geodésicas repetidas permiten registrar estas anomalías y definir sus magnitudes y tendencias en el tiempo, lo cual constituye uno de los elementos fundamentales para la elaboración del pronóstico sísmico.

El análisis de los datos existentes sobre las fases de preparación de los sismos y su reflujo sobre las anomalías de los movimientos verticales recientes ha permitido establecer algunas dependencias empíricas en las distintas etapas de este proceso, a través de modelos geodinámicos, los cuales demandan el carácter complejo de las investigaciones geocientíficas sistemáticas en polígonos especiales, similares al de Santiago de Cuba, con vistas al establecimiento de las bases del pronóstico sísmico en sus tres elementos fundamentales: lugar de ocurrencia, tiempo e intensidad.

Los primeros resultados sobre el carácter oscilatorio de la endodinámica reciente, en un sector del polígono geodinámico de Cuba suroriental, además de ser novedosos en las investigaciones geodinámicas en nuestro país, ofrecen perspectivas prometedoras en esta nueva dirección científico-aplicada.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el análisis de los datos morfoestructurales y geodésicos, el territorio del mesobloque Boniato - Santiago de Cuba se caracteriza por su alta movilidad, quedando demostrada la existencia del sistema de interacción dinámica "morfoestructuras - movimientos tectónicos recientes - sismicidad".
2. El estudio de los movimientos verticales lentos a lo largo de la zona sismogeneradora de Boniato mostró sus estrechas correlaciones morfoestructurales y el carácter oscilatorio de los mismos para cortos períodos de tiempo, característica geodinámica típica en territorios de alta sismicidad.
3. Los resultados de la renivelación geodésica de alta precisión arrojaron valores de ascenso de hasta +3 mm/mes entre 1982/83 y 1983/84 para la meseta monoclinical de Boniato, y de descenso de hasta -2,5 mm/mes entre 1983/84 y 1984/85, mientras que en la depresión "graben" de Santiago de Cuba los valores oscilaron entre 0-0,5 mm/mes para ambos períodos.
4. Las amplitudes máximas de la magnitud y tendencia del carácter oscilatorio de la geodinámica se corresponden con las morfoestructuras inferiores y locales.
5. El fracturamiento tectónico intenso, propio de zonas sismogeneradoras, se expresa claramente en las variaciones endodinámicas, con gradientes elevados de las velocidades relativas de los movimientos tectónicos recientes.

REFERENCIAS

- Hernández Santana, J. R., D. A. Lilienberg, y R. González Ortiz (1986): Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y las depresiones circundantes. *Cien. Tierra Espacio*, 15.
- Lilienberg, D. A., V. M. Muratov, E. A. Finko, C. Pascual, J. R. Hernández, J. L. Díaz, y A. Venereo (1977): Datos preliminares sobre los movimientos tectónicos recientes de Cuba Oriental. En *Sovremennye dvizhenia zemnoy kory* (Tezisy VII vsesoiuznogo soveshania, 2., Ed. VINITI, Moscú, SSSR, pp. 212-216.
- Lilienberg, D. A., J. Hernández, M. Marques, J. Rueda, A. Venereo, y L. Álvarez (1984): Monografía compleja sobre los resultados de las investigaciones en el polígono geodinámico de Santiago de Cuba. [en ruso]. Moscú, 18 pp.

OSCILLATORY CHARACTER OF RECENT ENDOGENOUS GEODINAMICS IN CUBAN SEISMIC-GENERATING ZONES

ABSTRACT. *The Morphostructural and geodetic research made on the seismic-generating zone of suture between the graben depression of Santiago de Cuba and the monoclinical plateau of Boniato revealed the oscillatory character of the recent tectonic movements during 1983/1985. Once more the objective dynamic interaction system "morphostructures - recent tectonic movements - seismicity" was corroborated. Repeated geodetic leveling of high precision showed ascending values up to +3 mm/month between 1982/83 and 1983/84 for the monoclinical plateau of Boniato, and a descent up to -2,5 mm/month between 1983/84 and 1984/85, while in the graben depression of Santiago de Cuba the values oscillated between 0-0,5 mm/month for both periods. This revealed a strict correspondence between the morphostructural differentiation of the territory and the oscillatory character of the magnitude and tendency of the secular endogenous geodinamics along the most important seismic-generating zone of the southeastern land of Cuba. In the future, this will constitute one of the fundamental elements among the necessary indicators to be used in the elaboration of seismic forecasting.*