

Espectros de radioemisión solar con máximo en la banda de longitudes de onda centimétricas cortas: marzo a mayo de 1976

R. E. Rodríguez Taboada, N. G. Peterova y S. B. Akhmedov
Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Se determinaron las características más importantes del rango de longitudes de onda de 2.0 a 9.0 cm de la región activa relacionada con los grupos No. 10+11, 16 y 24 del año 1976 (Clasificación de Datos Solares) usando observaciones solares de bajo, mediano y alto poder de resolución en Cuba y en la URSS. Este material se analizó de acuerdo con la teoría de "Fuente Peculiar" y se explicó el comportamiento observado por la aparición de estos elementos en la región activa. Se propone una nueva explicación para la regularidad empírica del refuerzo centimétrico corto de los espectros en las regiones activas con una alta probabilidad de estallido, los cuales están asociados con eventos de protones, y estallidos con el mismo carácter.

PALABRAS CLAVE: radioemisiones solares, regiones activas.

ABSTRACT

The most important characteristics of the 2.0 to 9.0 cm wavelength range of the active region related to the groups No. 10+11, 16 and 24 of the 1976 year (Solar Data Classification) were determined using low, medium and high resolving power solar observations in Cuba and USSR.

This material was analyzed according to the "Peculiar Source" theory, and the observed behavior is explained by the appearance of such elements in the active region. A new explanation for the empirical regularity of the short centimetric reinforcement of the spectra in active regions with high great burst possibility, which are associated with proton events, and bursts with the same character is proposed.

KEY WORDS: solar radioemission, active regions.

1. INTRODUCCION

Debido a su interés práctico, entre los grupos de manchas presentan especial interés aquellos grupos cuya actividad destellante está relacionada con la ocurrencia de los llamados eventos protónicos. Por cuanto el arribo de protones a la Tierra se determina no sólo por las condiciones de generación sino también por su propagación en la corona solar y el espacio interplanetario, el problema del pronóstico de los eventos protónicos es uno de los problemas actuales de la astronomía que se caracterizan por una amplia interrelación de disciplinas.

En el presente trabajo se analizan e interpretan las características espectrales de la radioemisión solar de un complejo de actividad, señaladamente geoelectivo, para el cual se dispone de observaciones con intermedio y bajo poder de resolución angular realizadas en la URSS y Cuba con los radiotelescopios Gran Radiotelescopio de Pulkovo (BPR de la URSS), y RT-3 (Cuba), así como resultados de eclipses y del RATAN-600.

Esta región activa fue observada en el período de marzo-mayo de 1976 y produjo dos potentes radioestallidos acompañados de la llegada de protones al espacio circun-terrestre.

En el problema de los destellos solares, uno de los aspectos más importantes es el relacionado con las fuentes

de almacenamiento y disipación de la energía. La presencia de láminas de corriente es considerada la forma más probable de explicación de estos procesos, aunque no se cuenta con datos observacionales que muestren de manera unívoca la existencia y características de estos objetos (Akhmedov *et al.*, 1986).

2. MATERIAL OBSERVACIONAL

El grupo estudiado fue un grupo con un largo tiempo de vida (3 rotaciones solares); se desarrolló en el hemisferio visible el 6 de marzo de 1976 y fue clasificado con el número 10+11 según el boletín Datos Solares.

En esta investigación se emplearon observaciones de la polarización de la radioemisión en dos frecuencias (4.4 y 9.0 cm) empleando el Gran Radiotelescopio de Pulkovo (BPR) que tiene una resolución de 1.7 y 3.5 min de arco en la dirección más estrecha de su diagrama de antena. Las observaciones se llevaron a cabo en el momento del paso del Sol por el meridiano en Leningrado a eso de las 10h U.T.; también se emplearon las observaciones regulares en 2.0 y 4.5 cm del Servicio del Sol en la Estación Radioastronómica de La Habana (E.R.H.), que tienen una resolución angular de 1 grado y que se realizan de las 13 a las 23 horas U.T.

Para el caso concreto de este grupo, aun las observaciones del BPR carecen de la resolución angular necesaria

para el estudio de los detalles de la fuente de emisión en ondas de radio. No obstante, se sabe por las observaciones de eclipses (figura 1) y del RATAN-600 (resolución angular del orden de los segundos en la banda centimétrica), que existen las llamadas "fuentes peculiares" que se observan entre las fuentes de las manchas y que, aunque de pequeño tamaño (20-30 seg de arco), aportan una gran contribución a la radioemisión general de la región activa (2-20 unidades de flujo solar), lo que permite que la presencia de las mismas sea notada aun en los casos de insuficiente resolución angular (Korzavin et al., 1989).

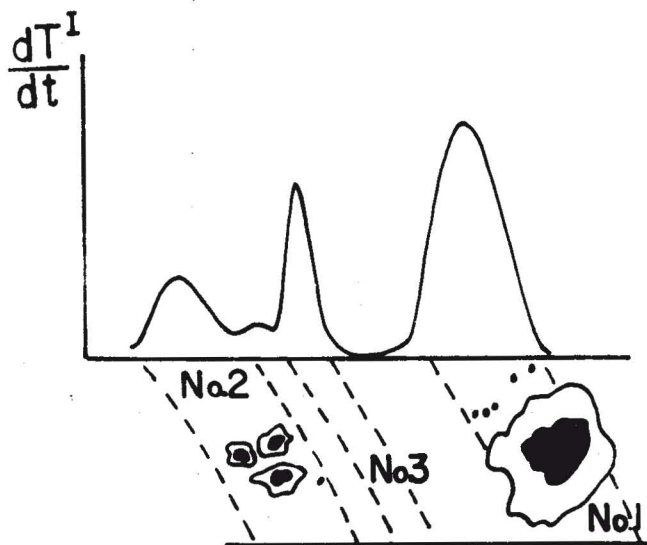


Fig. 1. Esquema que muestra para el grupo No. 212 una fuente peculiar observada en la E.R.H. durante el eclipse de Sol del 24 de diciembre de 1974. Detalle No. 3.

Este material permitió obtener el espectro del flujo de la región activa en sus dos estados, cuasiestacionaria y perturbada. En el caso de la explosión, esto se hizo para tres fases, precursor, máximo y aumento posterior a la explosión (PBI). El grado de polarización durante la explosión no mostró cambios sustanciales, por lo que sólo se da el valor característico obtenido del promedio de estas tres mismas fases.

El carácter general del espectro durante la fase de máximo se obtuvo al considerar datos complementarios publicados en Solar Geophysical Data.

3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBSERVACIONALES

El objetivo de la investigación es la búsqueda de comportamientos no usuales de la radioemisión de las regiones activas; por esto, los resultados aquí obtenidos serán analizados desde el punto de vista de las ideas actuales de las características estadísticas de las fuentes locales y los radioestallidos.

1. Directividad de la radioemisión

La directividad de la radioemisión de las fuentes locales

se expresa en forma cosinusoidal (o aún más abrupta) en dependencia de la heliolongitud y se observa más frecuentemente en los grupos de manchas tipo H (manchas grandes solitarias). En la estructura del grupo de manchas estudiado, realmente se presenta una gran mancha estable de este tipo, aunque el grupo presentaba una estructura bipolar desarrollada en forma de pequeñas manchas, lo que no es típico para los grupos clase H (figura 2).

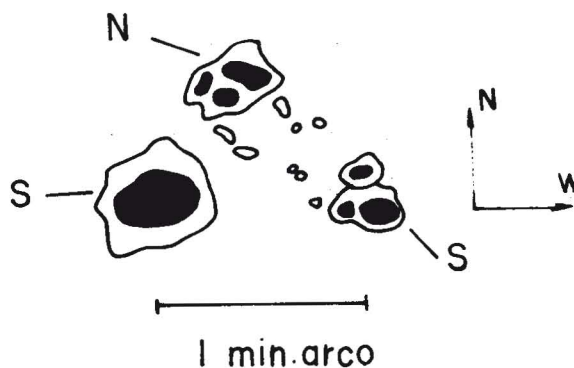


Fig. 2. Esquema del grupo No. 24, el 29 de abril de 1976: Nótese que a diferencia del grupo 212 (figura 1), que muestra una disposición horizontal de las manchas principales, en este caso la dirección del campo (N-S) es casi perpendicular a la dirección Este-Oeste.

Desde este punto de vista, la directividad de la emisión claramente testifica para el grupo en su segunda rotación, que la emisión se determina fundamentalmente por la mancha principal (figura 3). Este tipo de directividad puede ser

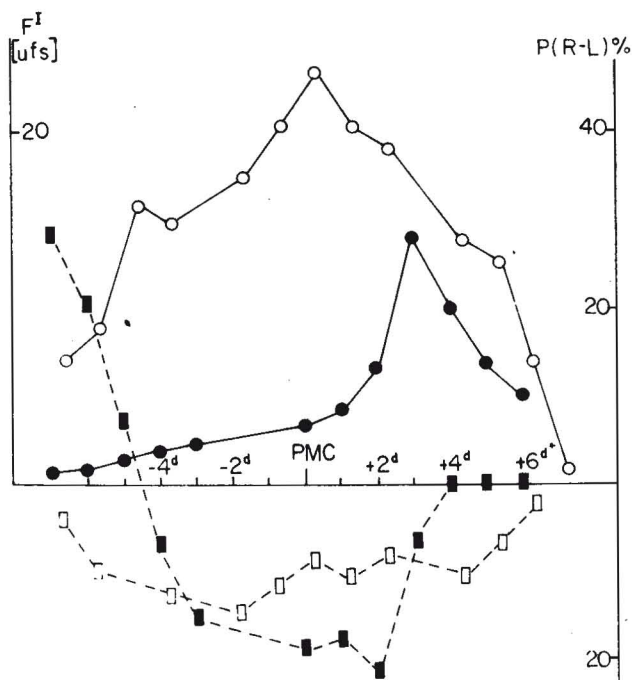


Fig. 3. Diagrama del flujo total (0.0) y polarizado (0.0) para los grupos 16 y 24, respectivamente, en la longitud de onda de 4.4 cm.

explicado por la forma de la región de emisión, si se supone que ésta tiene una altura pequeña en relación con su extensión. De aquí se puede sacar la importante conclusión de que si en su estructura se encuentran fuentes de otra naturaleza que aporten una contribución notable a la radioemisión total, su forma deberá ser plana.

2. Espectro de flujo

Para las fuentes locales es característico un espectro con máximo en el diapasón de los 10 cm. En el caso de la fuente local estudiada, en su tercera vuelta se observa un aumento de la emisión de las ondas cortas menores de 5 cm, sobre todo en el período del potente radioestallido del 30 de abril y el 1o. de mayo (figura 4).

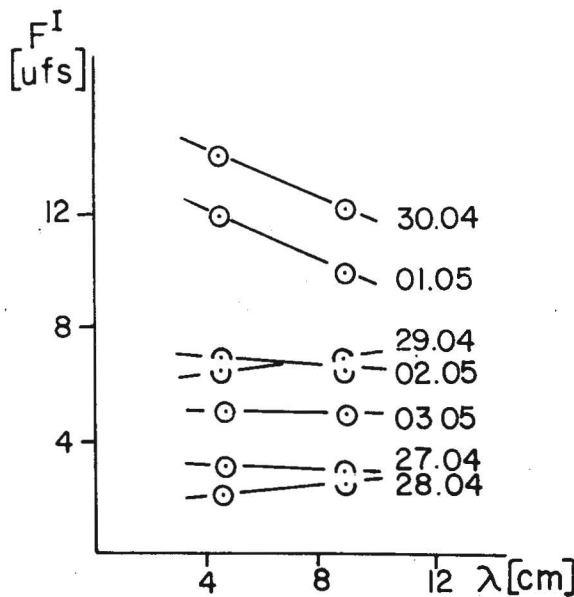


Fig. 4. Espectro de flujo de intensidad para el grupo No. 24.

En los períodos previo y posterior al destello el carácter del espectro de flujo era plano lo que testifica sobre el aumento de la radioemisión en las ondas cortas.

Este mismo aumento se nota en el espectro de flujo del radioestallido para el momento del máximo (figura 5). Como se sabe por trabajos anteriores (Rodríguez, 1983) el espectro con máximo en las ondas cortas se observó en el 17% de los radioestallidos; como regla, tiene lugar en los grandes grupos de manchas ($S_p > 800$ mhv) y un bajo grado de polarización (figura 6). Estas particularidades del espectro de flujo se corresponden muy bien con los espectros de los detalles "peculiares" de las fuentes locales. Estos detalles presentan un espectro con un máximo bien definido (Korzhavin *et al.*, 1989) en el diapasón de los 3-4 cm (figura 7).

Si proponemos que existen fuentes de este tipo en la estructura del grupo en su tercera rotación, entonces, de

estas observaciones se sigue que las "fuentes peculiares":

- a) tienen un largo tiempo de vida, y
- b) aportan una gran contribución a la emisión general de la fuente local y una contribución fundamental a la radioemisión en la fase máxima del radioestallido.

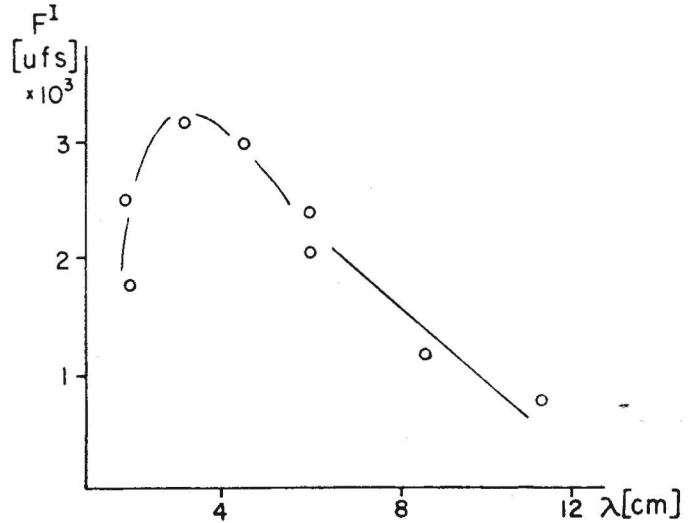


Fig. 5. Espectro de flujo para la fase de máximo del radioestallido asociado al grupo No. 24.

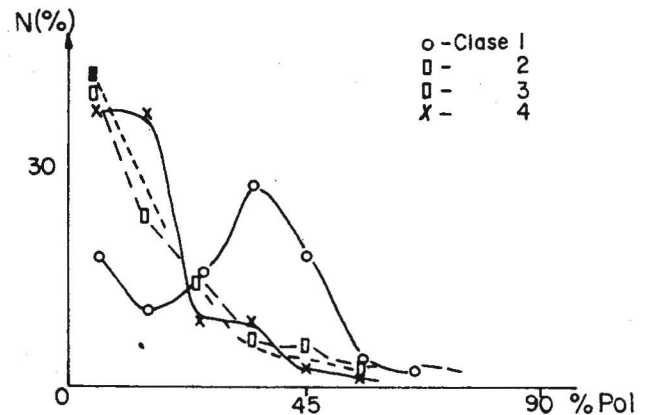


Fig. 6. Distribución del grado de polarización para algunas clases espectrales (Rodríguez, 1983).

- Clase 1 Monotono creciente con la longitud de onda
- 2 Monotono decreciente con la longitud de onda
- 3 Máximo en la banda de 10 cm
- 4 Máximo en la banda centimétrica corta (~3 cm)

3. Polarización

La polarización, como se sabe, permite juzgar sobre los campos magnéticos en la región de generación y propagación de la radioemisión. De acuerdo con las investigacio-

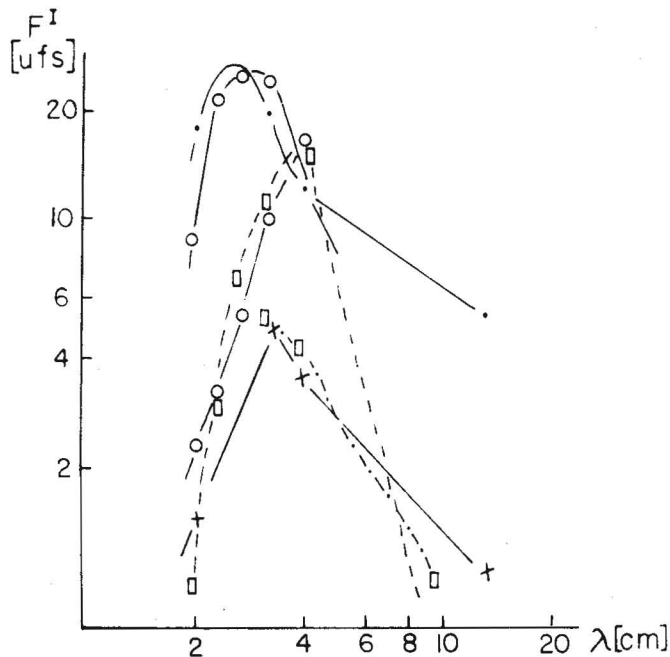


Fig. 7. Espectros de varias fuentes peculiares, tomados de Korzhavin et al., 1989.

nes estadísticas en la mayoría de las fuentes locales (65%) la polarización intrínseca sólo se observa en las cercanías del meridiano central, ya que después de 2-4 días del paso por el meridiano central, el rol fundamental en el carácter de la polarización lo juegan las condiciones de propagación en el campo magnético cuasitransversal, lo que conduce al cambio de signo de la polarización.

Desde este punto de vista, el carácter de la polarización del grupo en su segunda y tercera rotaciones es completamente distinto, lo que indica las grandes variaciones en la estructura del campo magnético entre la segunda y la tercera vueltas. Si para el grupo en su segunda rotación no se observa en lo absoluto el cambio del sentido de la polarización, en la tercera ésta es visible en la cercanía del limbo Este, así como en el hemisferio Oeste. De aquí se puede concluir que el campo magnético de la mancha principal determinaba la polarización en su conjunto y que en la segunda vuelta el campo tenía un carácter bipolar, mientras que en la tercera vuelta aquélla estaba cercana a ser unipolar aun en el período del 29 de abril al 30 de mayo, cuando la estructura de la región activa estaba casi igual que en la segunda vuelta. La ausencia de inversión en el grupo durante su segunda rotación se atribuye a una fuerte inclinación del eje del campo magnético del grupo de manchas.

Un fenómeno poco usual en las observaciones de polarización es el fenómeno de "escintilación", que fue notado en el grupo No. 24 el 28 de abril en la longitud de onda de 9 cm (figura 8).

Este efecto puede estar ligado a varias causas, entre ellas la aparición de nuevos campos magnéticos en este período;

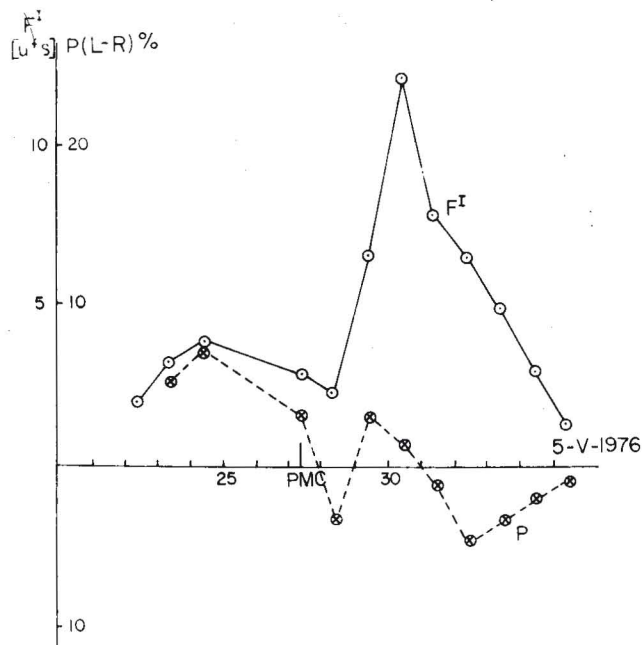


Fig. 8. Diagrama del flujo total (U) y polarizado (O) para el grupo No. 24 en la longitud de onda de 9.0 cm.

la variación del campo magnético coronal a gran escala en las grandes alturas de la atmósfera solar (~100,000 km); o al aumento en la altura de la fuente de emisión polarizada. El modelaje de esta situación pudiera ayudar a la solución de este problema.

El carácter de la polarización indica que en el período del evento del 30 de abril la polarización de la radioemisión estaba fuertemente influida por las condiciones de propagación, lo que probablemente explica el hecho de que el signo de la polarización del evento cambia en el diapasón 2.0-4.5 cm (figura 9).

4. Pronóstico de destellos protónicos

Algunas características de la radioemisión de las regiones activas que emiten protones o potentes destellos y radioestallidos están reflejadas en la literatura (Molchanov, 1984). Para tales fuentes locales, observadas con resolución intermedia, es característico un valor alto de la densidad de flujo en el diapasón de los 3.2 cm ($F > 10$ SFU), así como por un espectro duro, indicativo de lo cual resulta la relación $F(3.2)/F(8.0)$. Para las regiones activas protónicas esta relación debe ser mayor que 1.

En este criterio, la longitud de onda no es un parámetro estricto, por lo que en nuestro caso podemos usar 4.4 y 9.0 cm como representantes de la parte alta y corta del diapasón centimétrico.

En el caso de la longitud de onda de 4.4 cm del grupo en su segunda rotación, teniendo en cuenta la directividad de

la radioemisión durante todo el período desde la salida hasta la puesta, se le considera protónico (figura 9).

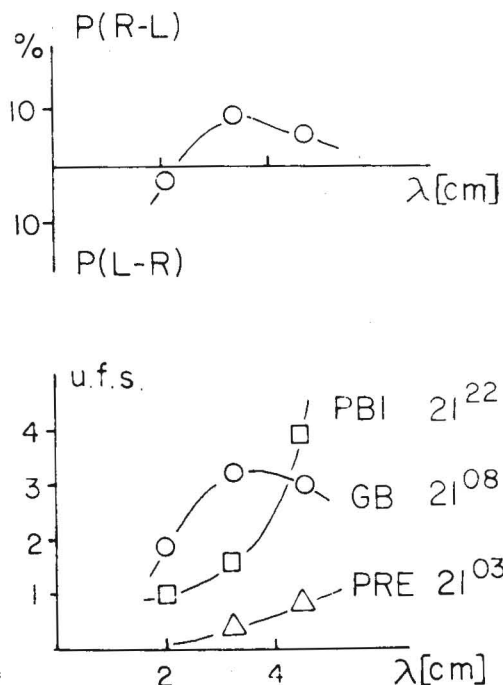


Fig. 9. Espectro del flujo total y polarizado del radioestallido. La escala del flujo total es de 10^2 para las fases PRE y PBI y de 10^3 para la fase del máximo (GB).

Además, la efectividad del pronóstico según el flujo en este caso es pequeña, se confirma menos del 10% de los pronósticos. En el caso de la tercera rotación, el cuadro es distinto. El pronóstico según el flujo permite un pronóstico al 100%. Para este caso, el valor de la relación de los flujos es mayor que 1 en dos observaciones entre las cuales ocurre el destello protónico. Así, según este criterio (Tanaka y Enome, 1975) el potente destello del 30 de abril de 1976 pudo ser pronosticado por observaciones radioastronómicas con una gran verosimilitud, aunque desde el punto de vista general del pronóstico, queda por esclarecer el que después de ocurrido el fenómeno se mantenía alto el valor de este índice.

4. CONCLUSIONES

Debemos señalar que la presencia de fuentes peculiares en la estructura de las regiones activas y que proponemos relacionadas con la actividad destellante, da un sentido físico al criterio de pronóstico de Tanaka-Enome en lo que corresponde a la relación de los flujos de 3.2 y 8.0 cm. Teniendo en cuenta el carácter del espectro de estas fuentes peculiares, que presentan un claro máximo en el diapasón

de los 3-5 cm se puede concluir que su emisión comienza a jugar un papel fundamental en el balance general de la radioemisión de los grupos de manchas con actividad destellante intensa, haciendo más duro su espectro. Proponemos además que lo mismo puede decirse para los radioestallidos cuyo máximo se encuentra en el diapasón de los 3-5 cm, en cuyo caso el abrillantamiento de estas fuentes peculiares jugaría el papel fundamental del balance energético de la región activa en su estado perturbado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a A. N. Korzhavin y a G. B. Guelfreikh por su atención e interesantes discusiones.

BIBLIOGRAFIA

- AKHMEDOV, Sh. B., V. M. BOGOD, V. N. BOROVNIK, G. B. GUELFREIKH and A. N. KORZHAVIN, 1986. "On the search of current sheets in the solar atmosphere using radio-observations". In: "Solar Maxima Analysis". V. E. Stepanov and V. N. Ubridko (Eds.). VNU Science Press, 51-56.
- KORZHAVIN, A. N., G. B. GUELFREIKH and S. M. VATRUSHIN, 1989. "Peculiar sources of Solar Radioemission and their possible interpretation" (in press).
- MULCHANOV, A. P. (Ed.), 1984. "Pronóstico de los destellos solares y sus consecuencias". Radioemisión del Sol. Tomo 5. Ed. de la Universidad de Leningrado, Leningrado.
- RODRIGUEZ, R. E., 1983. "Resultados preliminares de la investigación de las explosiones solares en banda centimétrica", Ciencias de la Tierra y el Espacio, No. 6, 21-31.
- TANAKA, H. y S. ENOME. "The microwave structure of coronal condensations and its relation to proton flares", *Solar Phys.*, 40, 123-129.

R. E. Rodríguez T., N. G. Peterova y S. B. Akhmedov

*Instituto de Geofísica y Astronomía
Academia de Ciencias de Cuba,
Ave. 212, No. 2901
La Lisa, La Habana, Cuba.*