

Influencia de la actividad geomagnética en los parámetros de frecuencia de una traza de gran extensión

Lourdes Palacio Suárez ⁽¹⁾, Raúl Martín Hernández ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No.2906, La Lisa, C. Habana, CP 11600, Cuba.

Recibido: enero-octubre, 2001	Aceptado: noviembre, 2001
-------------------------------	---------------------------

Resumen

Se analizan las variaciones de las frecuencias máxima y mínima observadas (MOF y LOF) en el trayecto Moscú - Habana en dependencia de la actividad geomagnética con la finalidad de lograr un conocimiento más completo de las condiciones de propagación en el mismo, que permitan optimizarlo y sentar las bases para su diagnóstico y pronóstico. La actividad geomagnética se evalúa mediante el índice k_p , y a partir del efecto de las tormentas magnéticas que ocurrieron cerca del primer punto de reflejo. El análisis de las variaciones de MOF y LOF durante períodos tranquilos y perturbados del campo geomagnético mostró el predominio de las desviaciones negativas de MOF cuando el campo está perturbado, en tanto la LOF presenta una dependencia más débil, aunque se observa una tendencia a que las desviaciones sean positivas en estos períodos, lo que provoca el estrechamiento de la banda de frecuencias, y por ende, un empeoramiento de las condiciones de propagación en este trayecto. El comportamiento del parámetro MOF durante 97 tormentas magnéticas registradas en la estación magnética Lerwick, cercana al primer punto de reflejo, permitió establecer que con el aumento de la actividad geomagnética se dificulta la propagación de la señal en esta traza transauroral de gran extensión, pudiéndose interrumpir la misma por algunas horas e incluso días.

Palabras clave: Geomagnetismo

Influence of geomagnetic activity on the frequency parameters for a great extension path abstract

Abstract

The variations of Maximum and Minimum Observed Frequencies (MOF and LOF) in the Moscow-Havana path are analysed in dependence of the geomagnetic activity for reaching a more complete knowledge of the propagation conditions in this path which allow to improve it as well as to give bases for its better diagnostic and forecast. The geomagnetic activity is evaluated from both the K_p index as well as the effect of the geomagnetic storms which occurred close to the first reflection point. The analysis of the variations of the MOF and LOF during both the calm and disturbed periods of the geomagnetic field, showed the predominance of the negative deviations of the MOF when the field is disturbed, while the LOF presents a dependence of the positive deviations in such period. It gives place to the narrowing of the frequency band and therefore to a deterioration of the propagation conditions in this path. The behavior of the parameter MOF during 97 geomagnetic storms, recorded at the geomagnetic station Lerwick, close to the first point of reflection, allowed to establish that with the increasing of the geomagnetic activity more difficulties are present in the signal propagation through this transauroral path of great extension. This situation can interrupt the propagation for some hours or even days.

Key words: Geomagnetism

Introducción

Las comunicaciones por onda corta (OC) se efectúan a grandes distancias gracias a la reflexión de éstas en la ionosfera; pero son numerosos los factores que influyen en este medio, y por tanto, en los parámetros de una traza de comunicación por OC. Así tenemos, que la densidad electrónica en las capas ionosféricas varía en dependencia de la hora del día, la estación del año, la posición geográfica del punto de reflexión y el nivel de actividad solar.

Además de estas variaciones regulares, en determinados períodos aumenta o disminuye sensiblemente la densidad electrónica -perturbaciones magneto-ionosféricas- en las capas ionosféricas y pueden empeorarse o incluso interrumpirse las comunicaciones por radio. De aquí podemos inferir, que en los trayectos de gran extensión, es realmente compleja la valoración del estado de la ionosfera imperante y más aún, de las condiciones de propagación de las ondas de radio a través de ella.

En este sentido, uno de los métodos radiofísicos más efectivos para el estudio de un circuito de comunicaciones por OC es el de sondeo inclinado de la ionosfera (SI), ya que permite conocer los mecanismos y modos de propagación en una traza dada, la dependencia de sus parámetros de los factores heliogeofísicos, la influencia de la posición geográfica y de la orientación del trayecto. Utilizando este método se han investigado diferentes canales de comunicación en Estados Unidos de América (Agy y Davies, 1959), Japón (Aono, 1962), Francia (Delobean et al., 1955), Alemania (Moller H. G. 1967), Rusia (Smirnov, 1972), y otros países. Sin embargo, son contados los casos de trazas de gran extensión estudiados con este método (Smirnov, 1972) y bastante reducido el número de trabajos dedicados a analizar la influencia de los diferentes factores heliogeofísicos en estos trayectos (Blagovechenskaya et al., 1989 a, b).

La traza Moscú - Habana, cuya extensión es cercana a los diez mil kilómetros, se ha venido investigando desde hace algunos años y los resultados preliminares obtenidos han sido expuestos por Martín et al. (1989).

En el presente trabajo se analiza cómo influye la actividad geomagnética en los parámetros de frecuencia obtenidos experimentalmente en este trayecto, con el objetivo de lograr un conocimiento más completo de las condiciones de propagación de las ondas en el mismo.

Materiales y métodos

El trayecto Moscú - Habana comenzó a estudiarse en 1986, con la instalación de una estación de sondeo inclinado de la ionosfera. A partir de los ionogramas de sondeo inclinado puede obtenerse la banda de frecuencias que se propaga en un circuito para cualquier momento de tiempo. Los límites de esta banda están definidos, tanto por las condiciones reflectoras de la ionosfera, como por las condiciones de absorción en el trayecto, el ruido en el punto receptor y las características técnicas del equipamiento. El límite superior está determinado por la frecuencia máxima observada (MOF) y el inferior por la frecuencia mínima observada (LOF), mientras la banda de frecuencias se caracteriza por su diferencia: $d f = MOF - LOF$.

Estos tres parámetros, registrados para cada hora del día de todos los meses del período 1986 - 1989, los cuales se procesaron de forma independiente para tres estaciones del año: invierno, verano y equinoccio, y dos niveles de actividad solar: baja (1986-1987) y alta (1988-1989), fueron seleccionados en el presente trabajo con la finalidad de estudiar su dependencia de la actividad geomagnética. Como medida de la actividad geomagnética se escogió el índice k_p , considerando como períodos tranquilos los intervalos con $k_p < 2$ y como perturbados, aquéllos con $k_p > 3$.

Para el análisis de la relación con la actividad geomagnética se calcularon los valores medianos horarios de MOF y LOF a partir de los cinco días magneto-tranquilos y los cinco días magneto-perturbados de cada mes para cada estación estudiada, y de forma similar se procedió para $d f$. Además, para cada estación del año de los dos niveles de actividad solar se calcularon las desviaciones relativas de MOF ($d MOF$) y LOF ($d LOF$) para los días con $k_p \leq 2$ y con $k_p > 3$.

También se analizó, durante 97 tormentas magnéticas de diferentes intensidades registradas en la estación Lerwick, de coordenadas geomagnéticas 62° 08' N; 89° 14' E, cercana al primer punto de reflejo (61,5° N; 79,8° E), el comportamiento de la MOF en el período 1987 - 1989. Las perturbaciones ionosféricas determinadas a partir de $d MOF$ se clasificaron en tres tipos atendiendo a su incidencia en la propagación en este trayecto y se calculó su distribución en por ciento para cada año, y en dependencia de la intensidad de la tormenta magnética. También se analizan de acuerdo a la clasificación estándar para cada año estudiado.

Resultados y discusión

Variaciones de MOF y LOF

Los efectos de las perturbaciones magnéticas en la ionosfera han sido tratados por numerosos investigadores (Matsushita and Campbell, 1967; Zevakina, 1971) y continúan siendo estudiados, por su importancia en el

esclarecimiento de las relaciones magnetosfera-ionosfera y su aplicación en los pronósticos ionosféricos a corto plazo (Zevakina et al., 1967, 1990).

El estudio de las variaciones de los parámetros de SI durante períodos magnéticamente perturbados se ha realizado principalmente en trayectos, cuya extensión es inferior a los 4 mil kilómetros (Moller, 1967; Lukashkin, 1983), siendo contados los trabajos publicados sobre trazas magistrales, en que $D > 8$ mil kilómetros (Blagoveshenskaya et al., 1989 a y b).

En este trabajo, el estudio de la influencia del campo magnético en la traza mencionada, se inició comparando las variaciones de MOF y LOF durante los días magnéticamente tranquilos y perturbados de invierno, verano y equinoccio de alta (1988-1989) y baja actividad solar (1986-1987). Las figuras que se presentan a continuación muestran el período de alta actividad solar, por ser las variaciones más acentuadas, aunque se obtienen resultados muy similares para el período de baja actividad.

Fig. 1. Pasos diarios de la Frecuencia Máxima Observada (MOF) en el circuito Moscú-Habana.
Líneas discontinuas campo tranquilo; líneas continuas campo perturbado

La Fig. 1 muestra los pasos diarios para MOF, que como puede verse son muy marcados en invierno y equinoccio, produciéndose un aumento brusco de éstos en el momento en que se inicia la iluminación total de la traza y alcanzando los valores más altos en las horas posteriores al mediodía local del primer punto de reflejo. En el verano este paso es poco marcado, debido a que la traza se halla iluminada todo el tiempo. En períodos perturbados -línea continua-, se observa una disminución de la MOF prácticamente durante todas las horas del día, más acentuadamente en el período de alta actividad solar, y en la estación de verano, en que alcanza hasta un 10%.

El paso diario de LOF (Fig. 2), también presenta sus valores más altos en las horas diurnas (entre las 11 - 19 hrs). En períodos perturbados -línea continua-, la LOF aumenta en invierno y equinoccio, mientras en el verano disminuye entre las 9 - 17 hrs y aumenta o varía poco el resto del día.

Fig. 2. Pasos diarios de la Frecuencia Mínima Observada (LOF) en el circuito Moscú-Habana.
Líneas discontinuas campo tranquilo; líneas continuas campo perturbado

El paso diario de la banda de frecuencias (Fig. 3) responde al comportamiento de las dos características que lo componen. La $d f$ es mayor en los períodos en que la traza está totalmente iluminada y más estable en verano que en las otras estaciones. En períodos perturbados, como puede verse, se estrecha la banda de frecuencias, disminuyendo como promedio 2 MHz durante todo el día y siendo más notable este estrechamiento en el período de alta actividad.

Fig. 3. Pasos diarios del ancho de la banda de frecuencias($d f$) en el circuito Moscú-Habana.
Líneas discontinuas campo tranquilo; líneas continuas campo perturbado.

Esta disminución de $d f$ durante períodos perturbados ha sido reportada por otros autores (Lukashkin, 1983), relacionando el mismo con el aumento de LOF y la disminución de la MOF en estos intervalos. Obviamente, el decrecimiento de la banda de frecuencias en este trayecto durante períodos perturbados, nos indica que en el circuito Moscú - Habana la efectividad del trabajo disminuye en esos intervalos, lo que debe tenerse en cuenta para su correcta explotación.

Con la finalidad de profundizar en el comportamiento de los parámetros de frecuencia, se analizaron sus desviaciones relativas para los días con campo magnético tranquilo ($k_p \leq 2$) y perturbado ($k_p > 3$) de ambos períodos de actividad solar. La Fig. 4 muestra cómo en condiciones tranquilas las d MOF son preponderantemente positivas y menores al 10%, mientras las desviaciones son significativas y de signo contrario cuando el campo está perturbado: en invierno de las 16 - 20 hrs, en equinoccio además de en este período, se observa otro mínimo entre las 04 - 10 hrs y en el verano las desviaciones negativas están presentes durante la mayor parte del tiempo, alcanzando valores de hasta 20% en horas de la noche.

Fig. 4. Pasos diarios de las desviaciones relativas de MOF (d MOF) en el circuito Moscú-Habana
Líneas continuas campo perturbado; líneas discontinuas campo tranquilo

El predominio de las desviaciones negativas cuando $k_p > 3$ están evidentemente asociadas a la preponderancia de las tormentas ionosféricas negativas en latitudes altas y medias durante tormentas magnéticas (Zevakina, 1987).

Las variaciones de d MOF descritas son muy similares a las reportadas por Lukashkin (1988) para el trayecto transauroral Moscú - Is. Heiss de 3 mil kilómetros de extensión y cuyo punto de reflexión se halla en los 63° N de latitud geomagnética. La traza Moscú - Habana tiene su primer punto de reflejo muy cercano a éste, en los $61,5^\circ$ N, siendo también transauroral, y los resultados observados confirman el predominio de este punto -y por ende del estado de la ionosfera en el mismo- en las condiciones de propagación en todo el trayecto.

Las variaciones de d LOF mostradas en la Fig. 5, indican la gran inestabilidad que presenta este parámetro, ya que incluso en días tranquilos d LOF alcanza valores superiores al 10%. Como en este parámetro influyen las características técnicas del equipamiento y el nivel de ruido en el punto receptor, el análisis de sus variaciones tienen sólo un carácter cualitativo y aproximado, en forma similar al parámetro f_{min} de sondeo vertical. No obstante, puede constatar, que las mayores variaciones tienen lugar en períodos perturbados; en que llegan a predominar las desviaciones positivas.

Fig. 5. Pasos diarios de las desviaciones relativas de LOF (d LOF) en el circuito Moscú-Habana.
Líneas continuas campo perturbado; líneas discontinuas campo tranquilo

Comportamiento de MOF durante tormentas magnéticas.

Teniendo en cuenta la importancia del primer punto de reflejo en el trayecto Moscú - Habana, se analizó el efecto de 97 tormentas magnéticas de diferente intensidad registradas en el período 1987 - 1989 en la estación Lerwik, de coordenadas geomagnéticas $62^{\circ} 8' N$, $89^{\circ} 14' E$.

En forma similar al sondeo vertical, que utiliza la d foF2 para determinar la perturbabilidad de la región F2 en un punto dado, hemos empleado la d MOF, ya que las perturbaciones de la ionosfera superior se reflejan fundamentalmente en la MOF en un trayecto inclinado.

El comportamiento del parámetro d MOF durante estas tormentas magnéticas presenta determinadas peculiaridades, que hemos dividido en tres tipos atendiendo a la incidencia que tienen en la propagación en el circuito. Estos son:

I tipo - Se mantiene la propagación al iniciarse la tormenta magnética, aunque hay desviaciones significativas de d MOF.

II tipo - Hay propagación sólo entre 1 y 6 horas después del inicio de la tormenta magnética y se interrumpe, restableciéndose sólo en las horas diurnas.

III tipo - Se interrumpe la propagación al iniciarse la tormenta magnética, e incluso desde 1 hora antes. Se restablece al 2do. día sólo en las horas diurnas.

Estas perturbaciones fueron analizadas desde diferentes ángulos, con la finalidad de determinar si presentan alguna dependencia con el tipo de tormenta magnética a las que están asociadas.

La Tabla I presenta cómo se distribuyen estas perturbaciones atendiendo a la intensidad de las tormentas magnéticas a que están asociadas, y puede constatar, que también los tipos II y III predominan durante tormentas magnéticas fuertes y moderadas, lo que es de suma importancia para el pronóstico a corto plazo de la ionosfera en trayectos de similar orientación.

Tabla I. Distribución (en %) de las perturbaciones ionosféricas en el trayecto Moscú - Habana en dependencia de la intensidad de las tormentas magnéticas. F) fuerte, M) moderada, D) débil

AÑO	TIPO			
	INTENSIDAD	I	II	III
1987	F	0	67	33
	M	33	34	33
	D	50	25	25
1988	F	0	12	88
	M	0	50	50
	D	39	33	28
1989	F	0	50	50
	M	5	70	25
	D	12	59	29
TOTAL	F	0	33	67
	M	11	57	32
	D	32	40	28

La Tabla II muestra la distribución de estas perturbaciones para los tres años considerados, donde puede verse, que a medida que aumenta la actividad solar, se acrecienta el % de los tipos II y III, produciéndose un empeoramiento de las comunicaciones en este circuito.

Tabla II. Distribución (en %) de las perturbaciones ionosféricas en el trayecto Moscú - Habana para tres años atendiendo al tipo observado.

AÑO	TIPO		
	I	II	III
1987	38	33	29
1988	22	31	47
1989	7	64	29
TOTAL	20	45	35

La Tabla III también nos muestra la distribución de estas perturbaciones atendiendo a la clasificación general por tipos -establecida con datos de sondeo vertical-, y puede notarse el predominio de las negativas, características para las altas latitudes durante tormentas magnéticas.

Tabla III. Distribución (en %) de las perturbaciones ionosféricas en el trayecto Moscú - Habana según la clasificación estándar y casos en que no se observó variación o no se pudo clasificar al no haber señal. NEG) pert. negativa, BIF) pert. bifásicas, MEZ) pert. mezcladas, NV) no hay variación, NS) no hay señal.

AÑO	NEG	BIF	MEZ	NV	NS
1987	47	21	8	12	12
1988	51	28	9	3	9
1889	46	17	20	12	7
TOTAL	46	23	13	9	9

Conclusiones

En períodos perturbados la MOF disminuye, en tanto la LOF aumenta, estrechándose la banda de frecuencias, lo que influye negativamente en el trabajo del trayecto Moscú - Habana, disminuyendo su efectividad.

Se realizó una clasificación en tipos de las perturbaciones ionosféricas registradas en este trayecto -a partir de las variaciones de d MOF-, asociadas a las tormentas magnéticas en el primer punto de reflejo, que muestra cómo al aumentar la actividad solar y magnética, se acrecientan los tipos de perturbaciones II y III, provocando afectaciones serias de las comunicaciones en el circuito.

Referencias

- Agy, V. and K. Davies (1959): Ionospheric investigation using the sweep-frequency pulse technique at oblique incidence. NBS J. Res., 63 D: 151-154
- Aono, Y (1962): Study of radio wave propagation in sweep frequency pulse transmission tests in Japan. J. Radio Res. Labs, 9: 12
- Blagoveschenskaya, N. F., V. A. Bubnov y V. T. Ustinovich (1989a): Resultados del sondeo inclinado de la ionosfera en la zona subauroral bajo diferentes condiciones geofísicas [en ruso]. Geomagnetismo y Aeronomía, 29(1): 156-159
- (1989b): Influencia de las perturbaciones magnéticas en los parámetros de sondeo inclinado de la ionosfera [en ruso]. Geomagnetismo y Aeronomía, 29(5): 868-870
- Delobean, F., R. Eyfrig and K. Rawer (1955): Resultats experimentaux de transmission ionospherique d'impulsions indidence oblique. Ann. des telecomm., 10: 55-64
- Lukashkin, V. M. (1983): Dinámica de la banda de frecuencias de radiotrazas de OC árticas en períodos de perturbaciones magneto-ionosféricas [en ruso]. En: Sondeo Inclinado de la Ionosfera, GUIDROMETEOIZDAT, Leningrado, T. 390, 56-63
- Lukashkin, V. M. (1988): Influencia de factores geofísicos en los parámetros de un radiocanal de ondas cortas [en ruso]: En: Sondeo Inclinado de la Ionosfera en el diapasón decamétrico, GUIDROMETEOIZDAT, Leningrado, T. 411, 40-50
- Martín, R., L. Palacio y R. Martínez (1989): Valoración preliminar de la propagación HF en el trayecto Moscú - Habana mediante sondeo inclinado. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 15-16: 5-16
- Moller, H. G. (1967): Oblique sweep frequency sounding over 2000 km North-South Subauroral path. Radio Science, 2(1): 77-86
- Smirnov, V. B., P. A. Balankin e I. N. Kosterin (1969): Experimento de sondeo inclinado de la ionosfera en la banda de ondas cortas [en ruso]. IX Conferencia Nacional de propagación de ondas de radio. Edit. AC RSSU, 148-151
- Smirnov, V. B., Ed. (1972): Sondeo inclinado de la ionosfera [en ruso] GUIDROMETEOIZDAT, Leningrado 269 pp

- Zevakina, R. A. (1971): Perturbaciones ionosféricas [en ruso]: En: Perturbaciones ionosféricas y su influencia en las comunicaciones por radio. Ed. Nauka, 3-27
- Zevakina, R. A., E. V. Lavrova y L. N. Liajova (1967): Bases del pronóstico de las perturbaciones magneto-ionosféricas y del servicio de radiopronóstico a corto plazo [en ruso]. Ed. Nauka, 72 pp
- Zevakina, R. A., E. M. Zhulina, G. N. Nosova y N. P. Sergueenko (1990): Manual de pronóstico a corto plazo de la ionosfera [en ruso].Ed. Soviet Geophysical Committee, 71 ppruso] En: Estudios de propagación de las ondas cortas de radio. Editorial Ciencias, Moscú, 140-153.