

Vigilancia hidrometeorológica de la región ártica con un sistema espacial de órbita muy elíptica

por V. V. Asmus¹, V. N. Dyadyuchenko², Y. I. Nosenko³,
G. M. Polishchuk⁴ y V. A. Selin³

La falta de información fiable y actualizada con cierta frecuencia sobre los casquetes glaciares representa un importante problema de cara a la previsión meteorológica, afectando a la técnica de predicción en la totalidad del planeta. La pobre técnica de predicción numérica del tiempo (PNT) para la región ártica y los territorios septentrionales del planeta se debe principalmente a errores en la determinación de las condiciones iniciales, que dependen de la calidad de los datos iniciales. Hasta la fecha, los datos iniciales se han recibido de satélites meteorológicos geoestacionarios, que no resultan muy eficaces a la hora de analizar las altas latitudes, y de satélites de órbita polar, cuyos índices de actualización son a todas luces inadecuados. Por este motivo, es fundamental garantizar una recepción regular de información satelital integrada relativa a la región ártica, con el fin de hacer frente a las tareas más apremiantes en los ámbitos de la hidrometeorología, la geofísica, la geoquímica, la ecología y en lo referente a los aspectos relacionados con los desastres.

Obviamente, los métodos empleados para analizar los campos hidrometeorológicos en los modernos sistemas de predicción numérica del tiempo son universales, y su precisión no debería depender de una sola región concreta. Sin embargo, la adquisición de unas

condiciones iniciales altamente precisas (concretamente vectores de viento) únicamente sería posible mediante la realización de observaciones adicionales eficaces en las latitudes elevadas. Por ello, se ha propuesto llevar a cabo una demostración de un sistema hidrometeorológico de satélites con órbitas muy elípticas (HEO), denominado sistema "Arctica", cuyo fin sería proporcionar la información compleja necesaria para las difíciles tareas que están involucradas en el desarrollo de la totalidad de la región ártica.

Como dato significativo, cabe mencionar que las observaciones hidrometeorológicas llevadas a cabo en la región ártica dentro del marco establecido por el Año Polar Internacional 2007-2008 no están dotadas de datos de teledetección recibidos de forma simultánea y casi continua a lo largo de toda la región ártica.

Para conseguir desarrollar el conjunto de la región ártica se necesitan mejorar los siguientes aspectos:

- * Análisis y predicción de:
 - el tiempo a niveles regional (región ártica) y global;
 - la capa de hielo en el Océano Ártico;
 - las condiciones heliogeofísicas en la región espacial cercana a la Tierra;

- las condiciones de vuelo para la aviación (nubosidad, viento, corrientes en chorro, etc.).
- * Seguimiento de desastres.
- * Vigilancia del cambio climático.
- * Recopilación y retransmisión de datos desde plataformas de observación en tierra, mar y aire.
- * Intercambio y distribución de datos hidrometeorológicos y heliogeofísicos procesados.

El conseguir llevar a cabo un progreso adicional en la predicción numérica del tiempo a nivel tanto regional como mundial depende en gran medida de los siguientes factores:

- * Recepción casi continua de datos satelitales hidrometeorológicos y heliogeofísicos en la región ártica y en los territorios septentrionales del planeta.
- * Recepción de datos procedentes de boyas a la deriva en latitudes elevadas, estaciones meteorológicas automáticas y boyas de emergencia del sistema Cospas-Sarsat de búsqueda y salvamento en aire y mar, a través de canales de comunicación vía satélite en modo de teleacceso ininterrumpido las 24 horas del día.
- * Entrega operativa de predicciones meteorológicas a corto plazo y de datos relativos a la capa de hielo

1 Centro de investigación científica sobre hidrometeorología espacial "Planeta"
2 Servicio federal ruso de hidrometeorología y vigilancia del medio ambiente (Roshydromet)
3 Agencia espacial federal (ROSCOSMOS)
4 Asociación de Investigación y Producción S. A. Lavochkin

a usuarios a través de canales de comunicación vía satélite.

Durante los últimos años, la intensificación de las anomalías meteorológicas y climáticas ha otorgado más importancia a la tarea de aumentar la fiabilidad de las predicciones meteorológicas a medio y largo plazo.

Desde 2002, los datos iniciales provenientes de los satélites geoestacionarios básicos se han visto complementados (en primera instancia de manera experimental, pero posteriormente con carácter operativo) por cálculos relativos a los vectores de los campos de viento en las regiones polares (latitudes superiores a 65°N) mediante la utilización de las observaciones obtenidas con un espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada (dispositivo MODIS) de los satélites de órbita baja Terra y Agua, equipados con sistemas de observación terrestre (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los EEUU, NASA).

La utilización experimental de los datos MODIS, a pesar de su carácter local, baja frecuencia de actualización y otras desventajas a la hora de compararlos con los datos geoestacionarios, ha derivado en un incremento constante de la precisión de las predicciones numéricas del tiempo. Además, se ha detectado un impacto positivo no solo en las regiones de las latitudes altas, sino también en zonas extratropicales situadas dentro del alcance total de la zona de predicción. También se ha observado que los datos obtenidos a partir del MODIS relativos a los vientos "polares" son más útiles en el caso de predicciones "malas".

Esta investigación fue llevada a cabo en el Centro de vuelos espaciales Goddard (GSFC) y en el Laboratorio de propulsión a chorros de la NASA, y los resultados han sido presentados en congresos internacionales sobre meteorología por satélite y en reuniones del Grupo de trabajo internacional sobre métodos satelitales relativos a la evaluación del vector viento.

Dos factores complicados de obtener, pero que permiten evaluar de manera fiable el vector viento mediante datos

MODIS provenientes de satélites de órbita baja son:

- Un intervalo temporal importante (hasta 100 minutos) entre las observaciones en dos pasos consecutivos (lleva alrededor de 2,5 horas recibir una terna de imágenes, frente a las 0,5 horas que se necesitan con los satélites geoestacionarios).
- Necesidad de procedimientos de referencia geográfica y de "corrección" de imágenes con un alto nivel de precisión, en otras palabras: trasladar las imágenes a una estructura nominal.

La eficacia del sistema a largo plazo de las boyas a la deriva en la región ártica y la red de estaciones meteorológicas automáticas en los países septentrionales vendrá determinada, en gran medida, por las posibilidades de una transferencia eficaz de datos desde estas plataformas hasta los centros hidrometeorológicos regionales y nacionales.

La región ártica presenta dificultades de observación mediante el uso de los satélites meteorológicos geoestacionarios básicos a nivel internacional, puesto que el área de control de calidad en las órbitas geoestacionarias queda limitada por el ángulo cenital de observación de 70°, que corresponde a una latitud de 60°. Los canales de comunicación disponibles en los satélites geoestacionarios no pueden garantizar una recepción de datos de buena calidad provenientes de las boyas a la deriva ni de las estaciones meteorológicas automáticas del Ártico.

Por este motivo, durante los últimos años, los servicios meteorológicos y las agencias espaciales de Canadá, los Estados Unidos, la Federación Rusa y la Unión Europea, han venido interesándose cada vez más en el desarrollo de sistemas hidrometeorológicos satelitales con órbitas muy elípticas (perigeo \approx 1 000 km; apogeo \approx 40 000 km; inclinación \approx 63°; período orbital \approx 12 horas).

Las órbitas muy elípticas con un apogeo de \approx 40 000 km y un período orbital de 12 horas son las preferidas, puesto que

permiten la utilización de dispositivos de barrido de imágenes provenientes de satélites geoestacionarios con leves mejoras y poseen un tiempo de vida útil bastante prolongado (\approx 7 años), debido a unas condiciones de radiación más favorables. A estas órbitas se les ha dado el nombre de "órbitas de tipo Molniya"* debido a su prioridad y a la considerable experiencia de la Federación Rusa en el lanzamiento de satélites del mismo nombre en estas órbitas.

El principal objetivo de la colocación de estos sistemas en órbitas muy elípticas es el de contar, de forma casi continua, con datos hidrometeorológicos satelitales (especialmente de los denominados vectores viento "polares") que abarquen los territorios situados en latitudes superiores a 60°N dentro de la región ártica de la Tierra (casquete polar) mediante la utilización de instrumentos similares a los modernos dispositivos de imagen de los satélites meteorológicos geoestacionarios básicos.

Roscosmos y Roshydromet tienen la intención de crear e introducir el sistema Arctica de satélites en órbitas muy elípticas para llevar a cabo la vigilancia de las condiciones hidrometeorológicas en la región ártica y en el seno de los territorios septentrionales de la Tierra (en latitudes mayores de 60°N) mediante la utilización de la actual infraestructura científica y tecnológica de la superficie.

El diseño del sistema Arctica fue esbozado en el informe conjunto presentado por las delegaciones de Roscosmos y Roshydromet en la séptima sesión de las Reuniones consultivas de la OMM sobre Política de alto nivel en asuntos de satélites, en enero de 2007, así como en el XV Congreso Meteorológico Mundial celebrado en mayo de 2007.

Tal y como se refleja en las actas de la primera reunión del Grupo de trabajo internacional de la OMM, celebrada en abril de 2007, de cara a establecer una posible cooperación internacional sobre el proyecto Arctica, se recomendó que este proyecto fuera debatido en términos más amplios dentro del marco del proyecto internacional GEOLAB.

* Molniya significa "relámpago"

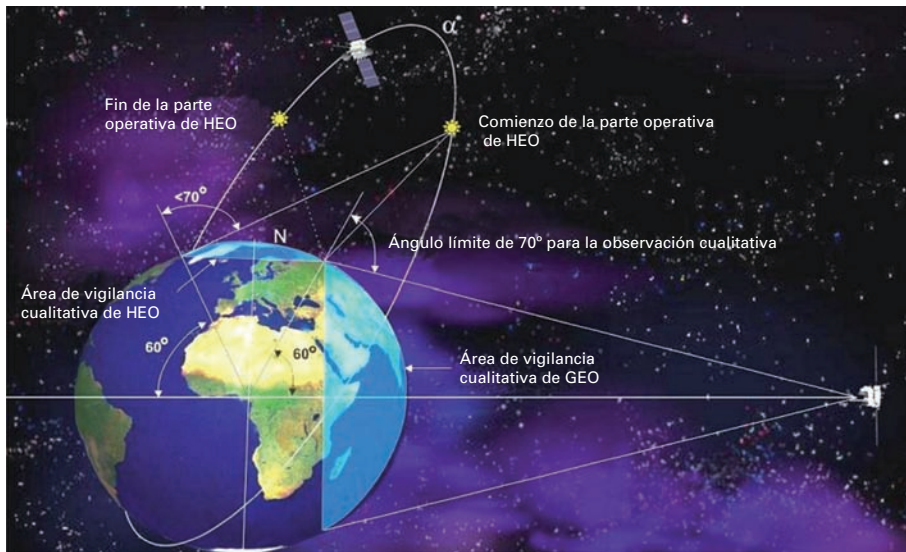


Figura 1 – Ventajas de las órbitas muy elípticas con respecto a las órbitas geoestacionarias para las observaciones efectuadas en la región ártica

En la Figura 1 se muestran las ventajas de las órbitas muy elípticas con respecto a las órbitas geoestacionarias para las observaciones efectuadas en la región ártica.

Las funcionalidades del sistema Arctica complementarían las de los satélites meteorológicos geoestacionarios existentes a nivel internacional, cuyos datos, según la OMM, conforman la base para las observaciones continuas de la Tierra a nivel mundial durante el siglo XXI. Su función principal es la recepción operativa de información hidrometeorológica (velocidad y dirección del viento, parámetros de nubes, precipitaciones, cubierta de hielo, etc.) en la región ártica como aportación de cara al análisis y la predicción del tiempo. Además, el sistema está diseñado para recopilar y transmitir información proveniente de plataformas de observación situadas en tierra, mar y aire, así como para intercambiar y distribuir los datos hidrometeorológicos procesados de la región ártica.

Los datos del sistema Arctica pueden emplearse como características de referencia para la información recibida de otros sistemas espaciales de teledetección que no cuenten con estos estrictos requisitos relativos a las observaciones ininterrumpidas a nivel mundial.

La vigilancia hidrometeorológica de los territorios septentrionales con una frecuencia de obtención de imágenes

y una calidad de datos similares a las obtenidas mediante satélites geoestacionarios requiere un sistema espacial con dos satélites situados en órbitas muy elípticas y los siguientes parámetros nominales:

- Altitud del apogeo (α) ~ 40 000 km
- Altitud del perigeo (π) ~ 1 000 km
- Inclinação (i) ~ 63°
- Período orbital, 12 horas

La Figura 2 muestra las órbitas de operación de los satélites del sistema Arctica.

El nodo ascendente de la órbita del satélite número 1 y el nodo descendente de la del satélite número 2 coinciden, mientras que el principio y el final de los segmentos operativos para cada satélite

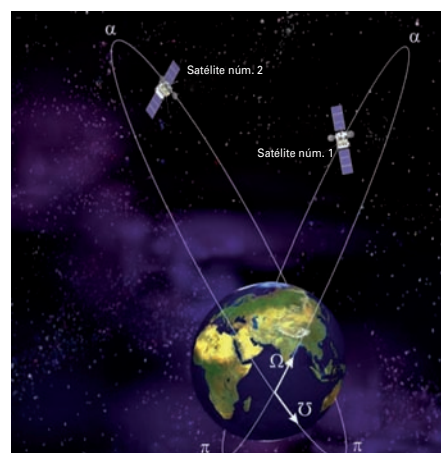


Figura 2 – Órbitas de operación de los satélites del sistema Arctica

caen 3,2 horas después del apogeo. La órbita muy elíptica con los parámetros adoptados que se han descrito garantiza los siguientes aspectos:

- una observación casi continua de los territorios de la región ártica para latitudes superiores a 60°N;
- la visibilidad continua de las ondas de radio de los satélites a través de los segmentos operativos de la órbita para los puntos de recepción situados en las regiones septentrionales.

El sistema Arctica propuesto, junto con los satélites meteorológicos geoestacionarios básicos a nivel internacional, permitirían una vigilancia global de toda la Tierra, con la excepción de la región antártica, aunque incluso esta tarea podría ser cubierta aumentando el número de satélites HEO hasta cuatro y seleccionando órbitas adecuadas.

El sistema espacial Arctica consta de dos satélites en órbitas HEO, un complejo terrestre para la recepción, procesado y distribución de los datos satelitales con puntos de recepción de datos y un dispositivo terrestre de control de satélite. Los recursos terrestres del sistema Arctica consisten en una serie de centros distribuidos a través de la zona de recepción, procesado y distribución de información a los usuarios. Se pretende crear los satélites del sistema Arctica mediante la utilización de las reservas científicas y tecnológicas de la Asociación de Investigación y Producción S. A. Lavochkin y del Centro de investigación "Planeta" de cara al diseño del satélite hidrometeorológico geoestacionario Electro-L, que se encuentra en la última fase de desarrollo.

El material científico de los satélites Arctica incluye:

- escáner multicanal;
- complejo de instrumentos heliogeofísicos;
- complejo de ingeniería de radio a bordo;
- sistema de recopilación de datos a bordo.

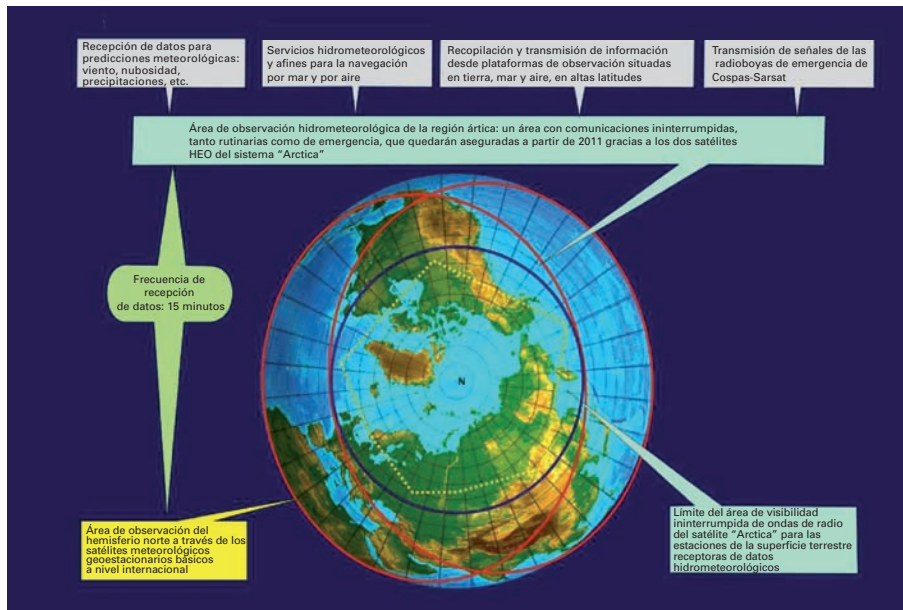


Figura 3 – Capacidades del sistema espacial Arctica, de órbita elevada

Este material científico no es definitivo y será minuciosamente calibrado siguiendo las sugerencias de los participantes en el proyecto. En el momento de redactar el presente artículo se estaba estudiando la posibilidad de que científicos de la Universidad de Calgary (Canadá) y del Instituto Meteorológico de Finlandia incluyesen un monitor de vídeo panorámico multicanal. Un monitor de vídeo panorámico multicanal en el espectro ultravioleta y asociado a órbitas del tipo Molniya proporcionará multitud de imágenes del hemisferio norte relativas a la zona de las auroras boreales y de los casquetes polares durante más del 60 por ciento de la misión.

Se ha previsto adaptar los instrumentos especiales del satélite Electro-L para satisfacer las necesidades de los satélites Arctica. Teniendo en cuenta los experimentos destinados a obtener evaluaciones del vector viento a partir de datos de satélites geoestacionarios y datos MODIS en la gama visible e infrarroja del espectro, las características de los satélites Arctica serán las siguientes:

- cobertura: disco de la Tierra completamente visible ($20^\circ \times 20^\circ$);
- diez canales de imágenes: (tres visibles y siete infrarrojos);
- rango espectral (μm): 0,5-0,65; 0,65-0,8; 0,8-0,9; 3,5-4,0; 5,7-7,0; 7,5-8,5;

8,2-9,2; 9,2-10,2; 10,2-11,2; y 11,2-12,5;

- resolución: 1 km en los canales visibles y 4 km en los canales infrarrojos;
- relación señal-ruido en el canal visible: ≥ 200 ;
- sensibilidad de la temperatura a 300 K en los canales infrarrojos: 0,8 K en el canal de 3,5-4,0 μm ; 0,4 K en el canal de 5,7-7,0 μm ; y entre 0,1 K y 0,2 K en el canal de 7,5-12,5 μm ;
- ciclo de repetición de imágenes (ininterrumpido): 15 minutos.

El complejo de instrumentos helio-geofísicos que se encargan de medir las características de la radiación solar, así como las condiciones radiativas y magnéticas de la altura de la órbita, incluye siete sensores:

- espectrómetro de radiación corpuscular con rangos de energía de 0,0 a 20,0 keV, de 0,03 a 1,5 MeV y de 0,5 a 30,0 MeV;
- espectrómetro para los rayos cósmicos del Sol con rangos de energía de 1-12 MeV, de 30,0 a 300,0 MeV y $> 350,0$ MeV;
- detector de rayos cósmicos galácticos con un rango de energía de > 600 MeV;

- instrumento medidor de la constante solar en el intervalo de 0,2 a 100 μm ;
- instrumento medidor del flujo de radiación de rayos X procedente del Sol con un rango de energía de 3-10 keV;
- instrumento medidor de la radiación ultravioleta solar en la línea de resonancia del hidrógeno (HL α) (121,6 nm);
- magnetómetro medidor de la tensión del campo magnético con un rango de ± 300 nTI.

El sistema espacial Arctica con las características mencionadas anteriormente podría ser creado a través de la colaboración entre Roscosmos (la Asociación de Investigación y Producción S. A. Lavochkin) y Roshydromet (el Centro de investigación "Planeta"). Roscosmos y Roshydromet están preparados para participar en más conversaciones con IGEOLAB en relación con los detalles de una posible colaboración internacional, que podría desembocar en la creación del sistema espacial Arctica dentro de cuatro años.