

SUPRESIÓN DE LAS TORMENTAS DE GRANIZO POR MEDIOS ARTIFICIALES

Por T.G. GZIRISHVILI*

A juzgar por las discusiones suscitadas durante la octava reunión del Consejo Interestatal de Hidrometeorología de la Comunidad de Estados Independientes, parece que los métodos de lucha antigranizo han vuelto a adquirir popularidad en esos países. Por tanto, es razonable examinar hasta qué punto es sólida la base física de los métodos artificiales.

Repasaremos brevemente los tres puntos principales que tienen una importancia especial para el problema en cuestión. En primer lugar, aún no se ha conseguido tener una percepción completa del proceso que explica la formación de hielo en las nubes. En segundo lugar la alta concentración de cristales de hielo (CH), medida en las nubes ($N_{CH} > 10 \text{ l}^{-1}$), es muy superior al valor de la concentración óptima $N_{CH} \approx 1 \text{ l}^{-1}$ que, de acuerdo con Bergeron, se requiere para el crecimiento de las partículas sólidas de hielo por sedimentación a partir del vapor en condiciones de saturación sobre agua. Finalmente, la información sobre los núcleos de hielo (NH) y los CH en las nubes es importante para justificar los métodos de modificación artificial del tiempo diseñados para provocar la lluvia o para impedir la formación de granizo o de tormentas. De acuerdo con la teoría tradicional, la razón principal de que los sistemas nubosos, con suficiente contenido de agua, no produzcan precipitación reside en el pequeño número de NH. De ahí que muchos métodos de modificación artificial del tiempo traten de aumentar artificialmente ese número introduciendo NH adicionales en las nubes.

La solución de los problemas de la física de las nubes está llena de dificultades. Al respecto, debería hacerse una mención especial al "fenómeno de la multiplicación de los cristales de hielo" (tal como se conoce en lo que hay escrito sobre este tema). Este problema ha surgido porque la comparación de los valores medidos de las concentraciones de CH y de NH, representadas por los números N_{CH} y N_{NH} , indica un valor mayor del coeficiente de multiplicación de

los CH, $R_x + N_{CH}/N_{NH} \approx 10^2/10^4$.

El estudio muestra que todos los intentos de resolver el problema de la multiplicación de los cristales, que se basa en la acción de las fuerzas mecánicas, lleva a obtener valores muy bajos del coeficiente de multiplicación $R_x \approx 10$. Tenemos noticia de varios intentos que han tratado de explicar el proceso de la multiplicación de los CH con la ayuda del concepto de multiplicación heterogénea y no han tenido éxito. La causa más probable de estos fallos es la creencia errónea de que el principal mecanismo, responsable de la formación de los CH primarios en las nubes, es la nucleación por contacto.

Nos oponemos a la base científica usada para enfocar el problema y que da lugar a la incertidumbre. ¡El nudo de la cuestión es que se comparan valores no comparables!

En efecto, los valores de N_{CH} se miden dentro de la nube, mientras que los de N_{NH} se miden fuera de ella o en condiciones de cielo despejado. Con lo cual no se considera el hecho de que las propiedades físicas y químicas de los aerosoles atmosféricos sufren cambios esenciales bajo la acción de factores que, de forma característica, intensifican los procesos atmosféricos. Nuestro enfoque del fenómeno, basado en numerosas medidas realizadas en condiciones de cielo despejado, lleva a la conclusión de que los núcleos de hielo justifican sólo una pequeña proporción del número total de aerosoles atmosféricos. De forma que, a una temperatura por encima de -15°C , únicamente una de cada aproximadamente 10^9 partículas atmosféricas se comporta como un núcleo de formación de hielo!

Condionalmente se puede suponer que todos los aerosoles atmosféricos de origen continental, que son insolubles en agua, pertenecen a dos tipos de partículas. Uno de ellos se caracteriza porque su superficie no es homogénea (hay en ella óxidos, poros, muescas, grietas, etc.); y se sabe que estas sustancias son adsorbentes polares específicos y se manifiestan a través de la existencia de una carga latente no compensada. El otro tipo se caracteriza por una superficie neutra y homogénea desde el punto de vista energético. A estas últimas sustancias se las conoce como adsorbentes no específicos.

* Presidente Adjunto del Servicio Hidrometeorológico de Georgia y punto focal nacional para el CMCC de la ONU

Para un aerosol adsorbente no específico, la modificación, en lo que respecta a la intensificación de su actividad de formación de hielo, se entiende como una serie de sucesos que siguen una determinada secuencia:

- la generación de cargas sobre la superficie de la partícula como resultado de la oxidación, de la carga de contacto y de los procesos dentro de la tormenta;
- la adsorción de vapor de agua sobre la superficie de la partícula en condiciones de saturación o sobresaturación sobre agua;
- la formación de embriones de hielo.

En el caso del tipo de aerosoles en cuya superficie existen los centros de fuerza ya desde el comienzo, por ejemplo, los adsorbentes polares específicos como las partículas que tiene origen en el suelo (SiO_2 , CaSO_4 , etc.) se debería considerar que la modificación es adsorbida directamente por apantallamiento de los centros de fuerza de la capa adsorbida. La mejor condición para tal modificación es la sobresaturación de agua.

Dependiendo de la naturaleza de los centros de fuerza y de la densidad superficial de éstos, la capa exterior de lo adsorbido puede ser de un espesor de una o varias capas moleculares. Las moléculas de esta última capa tienen un enlace fuerte con los centros de fuerza (en cualquier caso, su movilidad es mucho menor), sus agrupaciones laminares están muy deformadas y la mayor parte de los enlaces del hidrógeno están rotos. En las siguientes capas de lo adsorbido, la acción deformante del centro de fuerza es mucho más débil y las agrupaciones de nucleación de hielo están menos expuestas a ser destruidas por los movimientos moleculares térmicos que la masa de agua. De forma que, para que ocurra la nucleación de hielo heterogénea se requieren condiciones de sobresaturación de vapor bastante diferentes según sean las características energéticas del sustrato (Gzirishvili, 1985, 1988; Gzirishvili y col., 1988; Hobbs and Rango, 1985; Hobbs, 1990; y Vali, 1985).

Estos resultados constituyen una especie de ruptura respecto a la creencia tradicional de que la

sobresaturación en las nubes que están sobre agua puede ser sólo igual al 1%; e inducen a pensar en la existencia probable, en nubes convectivas, de sobresaturación no homogénea, en la que se alcancen valores de sobresaturación del agua considerablemente mayores que el 1%.

Los resultados de la investigación muestran que, en condiciones de procesos atmosféricos intensos, la actividad de formación de hielo de los aerosoles se hace mucho más intensiva cuando se toman muestras fuera de la nube y se someten a pruebas con una sobresaturación sobre hielo baja y no manifiestan capacidad de nucleación.

Es muy probable que, como confirman los datos publicados recientemente, si se tienen en cuenta las partículas de hielo más pequeñas (menos de 100μ) la concentración de CH será mucho más alta de lo que sería con siembra artificial.

Referencias

- GZIRISHVILI, T.G., 1985: An aerosol ice-forming mechanism. *I. Res. Atmos.*, **19**, (2-3), 309-314.
- GZIRISHVILI, T.G., 1988: On one stimulation mechanism of ice-formation in clouds (en ruso). *Phys. Atm. and Ocean*, **4**, 405-410.
- GZIRISHVILI, T.G. and V.G. KHORGUANI, 1988: About secondary ice crystal production. *Proc. Xth Inter. Cloud Phys. Conf.*, **2**, Bad Homburg, 254-256.
- GZIRISHVILI, T.G. *et al.*, 1988: Phase transitions in an adsorbed water layer on aerosol particles. *Proc. Physics. Atmos. Aerosol and Nucleation*, Springer Verlag, 634-637.
- HOBBS, P.V. and A.L. RANGO, 1985: Ice particle concentrations in clouds. *I. Atmos. Sci.*, **4**, 2 523-2 549.
- HOBBS, P.V., 1990: Ice in clouds. *Preprint volume for Conference on Cloud Physics*, San Francisco, 1990, California. Amer. Meteor. Soc., Boston, Massachusetts, 600-606.
- VALI, G., 1985: Atmospheric ice nucleation. (Review) *I. Res. Atmos.*, **19**, 2-3, **10**, 5-115.

