

EL EXPERIMENTO COMPLETO SOBRE LA ENERGIA ATMOSFERICA

ALGUNOS RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

Por K. YA. KONDRATYEV

La importancia de estudiar el factor de radiación en el estado atmosférico y en el clima, para alcanzar los objetivos establecidos dentro del Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP) (Kondratyev, 1968), se puso de manifiesto durante las discusiones preliminares mantenidas en relación con dicho programa. Un estudio detallado indicando la urgencia de este tipo de investigación puede encontrarse en una monografía (Kondratyev, 1972), que fue publicada por la OMM a continuación de la conferencia de la OMI leída por el autor en el Sexto Congreso Mundial de Meteorología, celebrado en Ginebra en 1971. En este contexto y sobre la base de un estudio sistemático, se redactó el programa del Experimento Completo sobre la Energía Atmosférica (CAENEX). Este programa abarca una amplia serie tanto de investigaciones en condiciones naturales como de trabajos teóricos dirigidos al estudio de las influencias de la radiación sobre el estado atmosférico y el clima y también la influencia recíproca entre la radiación y la dinámica (Kondratyev *et al.*, 1970). La cooperación eficaz entre las instituciones de investigación científica del Servicio Hidrometeorológico de la URSS (Observatorio Geofísico Principal, Observatorio Central de Aerología, Instituto Hidrometeorológico de Investigación Científica de la Región Centroasiática) y la Universidad de Leningrado durante un período de un año hizo posible, no sólo redactar un programa detallado del experimento, sino también realizar con éxito la primera expedición combinada del CAENEX al desierto del Kara Kum en el otoño de 1970. El desarrollo ulterior de las investigaciones dentro del programa CAENEX y el aumento en el número de instituciones participantes (a saber, Instituto de Física Atmosférica de la Academia de Ciencias de la URSS, Instituto de Óptica Atmosférica de la Sección Siberiana de la Academia de Ciencias de la URSS, Instituto de Meteorología Experimental, Institutos de Investigación Hidrometeorológica Científica de Ucrania y del Cáucaso y el Instituto Hidrometeorológico de Odesa) hicieron posible emprender expediciones combinadas anuales. Estas fueron la CAENEX-71 (estepa), CAENEX-72 (ciudad) y CAENEX-73 (Mar Caspio). La participación de especialistas soviéticos en la realización del subprograma de radiación del GATE fue la culminación de la fase de campo del CAENEX sobre la base de la cooperación internacional. Un esfuerzo cooperativo suplementario fue el experimento sobre radiación y aerosoles realizado por los EE.UU. y los Soviets a mediados de 1975 en las cercanías de Rylsk (véase en pág. 290).

Los resultados que se obtuvieron en las diferentes etapas de la ejecución del CAENEX han sido publicados en números especiales de las Memorias Técnicas del Observatorio Geofísico Principal (Trudy GGO) y en otras publicaciones (véase bibliografía), aunque el estudio científico de la enorme cantidad de datos obtenidos continuará. Ya que la fase de campo del CAENEX se ha terminado, parece oportuno hacer un resu-

men de los principales resultados del programa que se han obtenido hasta ahora y analizar las perspectivas de las futuras investigaciones.

Aerosoles y clima

La gran atención puesta sobre el problema de las variaciones climáticas despertó un interés especial sobre el papel de los aerosoles atmosféricos naturales y artificiales, como un factor que debe considerarse en relación con estas variaciones (véase, por ejemplo, la OMM - 1975). Esto exigió un estudio de los aerosoles y de sus propiedades (concentración, distribución de tamaños, composición química, índice de refracción complejo, forma y estructura interna de las partículas); este estudio constituyó una parte importante del programa CAENEX. El empleo de datos obtenidos utilizando vehículos espaciales (Grigoryev y Lipatov, 1974) permitió estudiar los centros de formación de gigantescas nubes de aerosoles. Estos datos revelaron también la influencia predominante de los manantiales continentales de aerosoles (en especial los desiertos). El análisis químico de los aerosoles recogidos durante el Experimento en el Atlántico Tropical del GARP (GATE) ha demostrado que, aún a distancias superiores a los 1.000 Km de la costa africana, existen aerosoles de origen continental; estos aerosoles están caracterizados por contener una cantidad de hierro, cobre, calcio, magnesio y aluminio mayor que la que normalmente podría esperarse en aquella región. Datos obtenidos con mediciones hechas en superficie, en el mar, con aviones y con globos, indican varias propiedades, entre las cuales está la gran variabilidad del campo de concentración de aerosoles (complicada estructura en capas), de la composición química de los mismos y de su distribución de tamaños. El desierto de Kara Kum se caracteriza por una distribución estable de tamaños de los aerosoles, que puede ser descrita por la fórmula de Junge. Sobre las regiones esteparias (Kazakstan septentrional) las observaciones indicaron que la concentración de aerosoles con radios mayores que $2,5 \mu\text{m}$ disminuía con la altura. Se encontró una inestabilidad en la concentración de partículas con radios de unos $0,25 \mu\text{m}$ y un aumento en la concentración de partículas gigantes (radios superiores a $2 \mu\text{m}$). En las regiones industriales se observó una gran concentración de partículas con radios del orden de $0,05 \mu\text{m}$.

Esta variabilidad de los aerosoles indica el carácter condicional de los modelos «patrón» de los aerosoles y la necesidad de tener en cuenta los fenómenos fundamentales de formación y de transformación de los aerosoles (como es necesario en el caso de las nubes), al establecer modelos numéricos de la circulación atmosférica general y en la teoría de los climas. Es importante, en especial, tener en cuenta la influencia mutua entre el polvo y los aerosoles acuosos. Dado que la nubosidad es el factor fundamental de la energética atmosférica y, en especial, del régimen de radiación, la influencia de los aerosoles como núcleos de condensación en la formación de las nubes y la variación de las propiedades ópticas de las mismas cuando contienen aerosoles, puede parecer más importante que el papel de los aerosoles mismos, como factor para determinar la transmisión de la radiación.

El problema de la influencia de los aerosoles sobre la transmisión de la radiación es fundamental en la física de los climas. Los dos as-

pectos más importantes de este problema son: descubrir el papel de la absorción de los aerosoles, y estudiar la influencia de los aerosoles en el albedo del sistema *superficie-atmósfera*. Las investigaciones de campo realizadas en el programa CAENEX dieron, por primera vez datos abundantes necesarios para la solución de estos problemas. Ya desde los años 50 Kastrov y sus colaboradores, empleando datos obtenidos de medidas efectuadas en la troposfera inferior con piranómetros transportados por aeronaves, descubrieron la existencia de una absorción en ondas cortas «adicional» a la absorción molecular. Medidas espectrales sincrónicas de la distribución vertical de los flujos de radiación de onda corta y de los aerosoles, que se iniciaron durante la campaña CAENEX-70, han mostrado la existencia de esta absorción de las ondas cortas por los aerosoles y han proporcionado datos sobre la dependencia espectral de dicha absorción. Medidas realizadas en diversas condiciones han demostrado que esta absorción es muy variable: puede ir desde cero (cuando los aerosoles han sido arrastrados por la lluvia), hasta valores comparables con la absorción molecular total. En el desierto el aerosol responsable de la mayor parte de la absorción es la hematites.

Medidas de los flujos espectrales de radiación de onda corta hicieron posible analizar la variabilidad del albedo del sistema *superficie-atmósfera* en función del contenido y propiedades de los aerosoles, del albedo superficial y de la altura del Sol (Kondratyev y Vasilyev, 1975). Los datos obtenidos en diferentes situaciones han servido de base para una evaluación de las variaciones posibles del albedo planetario por influencia de los aerosoles. Estas observaciones también abrieron la posibilidad de determinar las funciones de transmisión de la atmósfera real para el brillo y el albedo, que son muy importantes para la solución de los problemas de telediagnóstico de parámetros superficiales, empleando los datos obtenidos con mediciones del brillo o la reflectividad de la superficie desde el espacio.

El experimento completo de radiación (COMRAEX)

La estimación y comprobación experimental de la exactitud actual de los métodos utilizados para parametrizar la transmisión de la radiación, que se emplean en los modelos numéricos de la circulación atmosférica general y en la teoría de los climas (Kondratyev, 1972), exigen disponer de un conjunto cerrado de datos que permitirá comparar los resultados de los cálculos con las medidas de los flujos de radiación. Este conjunto de datos fue obtenido mediante el COMRAEX. Durante la expedición del CAENEX-70 fue posible efectuar el experimento completo de radiación en el desierto, con cielo despejado. Algo más tarde pudo realizarse el mismo experimento con cielo cubierto por estratos sobre el mar (véanse los ejemplares correspondientes del TRUDY GGO para los detalles). Durante la última campaña experimental se obtuvieron datos muy precisos, a partir de mediciones simultáneas de la radiación y de los parámetros microfísicos de las nubes, estableciendo la dependencia del albedo espectral en los estratos de sus parámetros microfísicos y la altura solar y se investigaron las características peculiares de la relación entre la longitud de onda y la radiación absorbida por las nubes. La absorción de la radiación de onda corta por una nube es muy importante y debe ser tomada en cuenta, especialmente en los casos de disolución o creci-

miento de los aerosoles por las gotas de agua. Con un espesor óptico superior a 20 (lo que indica una nube muy espesa) una nube absorbe alrededor del diez por ciento de la radiación incidente. La mayor parte de la absorción molecular (gaseosa) se produce en la parte superior de la nube.

Las medidas desde aviones volando a poca altura y realizadas con diferentes condiciones atmosféricas hicieron posible obtener gran cantidad de datos sobre el albedo espectral de varias superficies subyacentes.



Agosto de 1971.—La medida de los flujos de radiación en el Kazakstan septentrional durante el CAENEX-71. El Profesor K. Ya. Kondratyev es el segundo por la izquierda.

La comparación de los métodos para el cálculo aproximado de los flujos de radiación de onda corta, en los dos casos de cielo despejado y de cielo cubierto, demostró una concordancia bastante satisfactoria con los datos. Fue necesario, sin embargo, idear procedimientos para parametrizar la absorción de la radiación de onda corta por los aerosoles secos y por las nubes, basados en el empleo de un conjunto mínimo de variables, tales como las que se obtienen a partir de los datos suministrados por las telemidas (por ejemplo, el espesor óptico atmosférico determinado a partir de las medidas del brillo del sistema *suelo-atmósfera*).

Acción mutua entre la radiación y la dinámica

A pesar de algunos progresos en este campo, el problema de la interacción entre los campos de radiación y de movimiento en la capa superficial y en la troposfera baja aún no está resuelto (Kondratyev, 1972). Uno de los problemas importantes que exige nuevos estudios es el de la relación entre los intercambios de calor por radiación y sensible en la capa superficial y en la baja troposfera. Este fue el problema fundamental de la expedición CAENEX-71, ya que uno de sus principales objetivos era la medida simultánea de los componentes del balance calorífico en la superficie, medidas del gradiente, medidas directas de los flujos turbulentos e ímpetu mecánico, de calor y de humedad y de la divergencia del flujo de radiación en la capa superficial. Esta serie de observaciones fue seguida por medidas, hechas desde aviones, de los

flujos de radiación, de los aerosoles y de los parámetros meteorológicos a diversas alturas. Uno de los resultados notables de la investigación anterior fue el descubrimiento de que en el caso de un suelo calentado intensamente (por ejemplo en la estepa en verano) toda la capa límite atmosférica es calentada, no sólo por la absorción de la radiación de onda corta sino también por la transmisión de calor por radiación. Si suponemos que el flujo de calor sensible en el límite superior de la baja troposfera (una altura de 2 a 3 km) es nulo y despreciamos los efectos de la advección y de la convección (las estimaciones han demostrado que tal hipótesis es admisible en este caso), es posible valorar todos los componentes del balance de radiación en la capa límite. Sobre la base de las estimaciones obtenidas, se puede llegar a la conclusión de que durante las horas de sol las divergencias del flujo en la capa límite debida a la radiación y al intercambio de calor sensible son comparables. A veces la divergencia del flujo de radiación excede a la del turbulento. Además, la absorción del flujo descendente de la radiación de onda corta y la del flujo ascendente de radiación de onda larga, emitida por un suelo calentado intensamente, son la contribución principal al calentamiento por radiación de la capa límite. En estas condiciones el calentamiento de la capa inferior, de 200 metros, es debida principalmente a la absorción de la radiación térmica del suelo; en la capa de 200 a 1.000 metros de altura predomina la absorción de la radiación de onda corta y finalmente, por encima de los 1.000 metros de altura el enfriamiento debido a la radiación térmica emitida compensa parcialmente el calentamiento por absorción de *ondas cortas*. Variaciones de temperatura debidas a la radiación en los primeros 300 a 500 metros pueden exceder notablemente a las observadas.

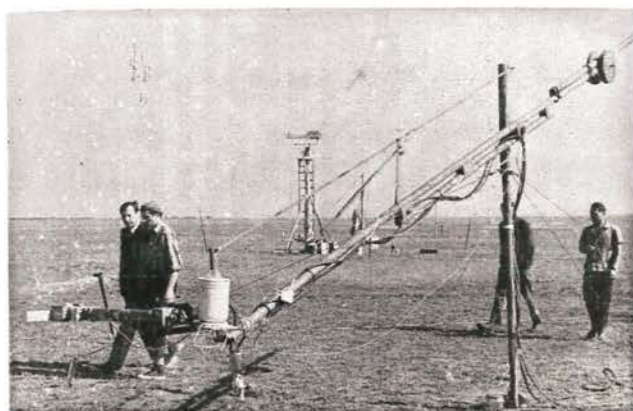
El empleo de datos relativos al balance térmico de toda la capa límite, han permitido calcular las características peculiares de la relación entre las divergencias del flujo de radiación y del flujo de calor sensible a varias alturas. Si, con gran insolación a mediodía, toda la capa límite se calienta por radiación y turbulencia, en su parte inferior (capa de 100 a 700 metros) el calentamiento debido a la radiación (principalmente de onda larga) se compensa por el enfriamiento debido a la transmisión de calor sensible. En la capa atmosférica superficial el flujo turbulento de calor aumenta con la altura. En el curso del CAENEX se puso gran atención al estudio del balance térmico de las superficies subyacentes y a la comprobación de los métodos existentes para el cálculo de los flujos turbulentos de cantidad de movimiento, calor y humedad.

Los resultados mencionados anteriormente demuestran que una parametrización puramente *dinámica* de los efectos de la capa límite no puede ser considerada aceptable. Y serán necesarios nuevos experimentos e investigaciones teóricas para elaborar una parametrización adecuada teniendo en cuenta los procesos físicos reales en la capa límite dentro de la teoría de la acción mutua de los campos de radiación y de movimiento. La situación parece que se volverá aún más complicada cuando se tomen en cuenta los cambios de fase del agua en la atmósfera.

El experimento urbano

El rápido desarrollo de las ciudades y su creciente influencia sobre el clima atraen cada vez más la atención al estudio de las particulari-

dades del régimen meteorológico de las ciudades (Kondratyev y Berliand, 1974). Sin embargo, a pesar de las numerosas publicaciones que tratan de este tema, los datos sobre el régimen meteorológico de las ciudades son fragmentarios. Es por lo que la campaña CAENEX-72, se realizó en un gran centro industrial (la ciudad de Zaporozhie), con tiempo seco y caluroso, durante el verano de 1972. Su finalidad era efectuar una investigación para estudiar completamente las características específicas del régimen meteorológico de la ciudad (campos de temperatura, de viento, de humedad y características de la radiación), así como factores de otro tipo (incluyendo el relieve y las características ópticas de la superficie subyacente, los contaminantes —gases y aerosoles— y el desprendimiento de calor debido a la industria) que determinan aquellas características. Con fines de comparación, se efectuaron medidas simultáneas en la ciudad y en los suburbios empleando estaciones de observación en superficie (incluyendo las instaladas en la torre-antena de TV,



Agosto de 1971.—Instrumentos empleados en la medida de los parámetros de la capa superficial durante el CAENEX-71 en el Kazakstan septentrional.

con altura de 150 metros), sondeos aerológicos y con instrumentos transportados por globos y aviones. La campaña CAENEX-72, hizo posible por primera vez combinar los estudios de los regímenes meteorológicos y radiación de una atmósfera urbana con la observación simultánea y detallada de la contaminación de la atmósfera por gases y aerosoles mediante un gran conjunto de instrumentos modernísimos que incluían analizadores automáticos de gases, un lidar, la estéreo-fotogrametría de las nubes de humo, observaciones de térmicas con aviones y medidas espectrales de la radiación. Más tarde se hicieron medidas análogas, pero menos completas, en zonas de las ciudades de Alma-Ata y Tbilisi.

Las observaciones de aerosoles en Zaporozhie revelaron una estructura vertical compleja. Un análisis de las medidas efectuadas en la torre de la TV demostró que en días determinados se observaba un máximo de concentración de aerosoles a alturas de 100 a 150 metros; las medidas desde aviones señalaron la existencia de dos máximos situados por debajo de los 5 km, cuyas alturas variaban en el transcurso del día y de la

noche. La influencia de la ciudad llegaba a una altura de 4 km. El análisis de los hologramas de la nube de aerosoles sobre la ciudad ha puesto de manifiesto que las partículas de polvo de 2 a 50 μ m tienen, en general, una forma no esférica y muy complicada (lo que indica que estas partículas no estaban cubiertas por una película de agua). La composición de estos aerosoles muestra un gran contenido de metales y de compuestos orgánicos. De acuerdo con los datos de la observación microclimática, la *isla de calor* urbana se extendía a lo largo de la principal arteria de la ciudad y su efecto máximo se experimentaba durante la noche, en las horas próximas a la salida del Sol. Con viento flojo, el gradiente máximo de temperatura entre la ciudad y los suburbios era de 4 a 6 grados Celsius. En cuanto a la altura del islote térmico era de unos 150 metros. De acuerdo con los datos de la observación térmica desde aviones, la temperatura nocturna de la ciudad era de 2,5 a 4 grados Celsius mayor que la de los suburbios, en tanto que durante el día la temperatura en la ciudad era de 2 a 2,5 grados inferior a la de éstos. Esta última conclusión ha sido confirmada por los datos obtenidos mediante medidas actinométricas efectuadas desde aviones. La ciudad es un poco más *negra* en el campo de la radiación de onda corta reflejada. El hecho de que por el día la ciudad está más fría que los suburbios, a pesar de su menor albedo, puede aparentemente explicarse por la absorción de la radiación solar por la capa de aerosoles (calima) sobre la ciudad. Como se demostró por las medidas espectrales, desde aviones, de las distribuciones verticales de los flujos de radiación de onda corta, la divergencia del flujo de calor debida a la absorción de la radiación por la atmósfera urbana contaminada es considerablemente mayor sobre la ciudad que en el campo. Esta diferencia puede también ser apreciada claramente analizando los datos de medida de la transparencia atmosférica espectral.

El análisis de la información recogida durante el CAENEX urbano continúa y se da gran importancia a la comparación de los datos de las observaciones complejas con los resultados de los modelos teóricos del régimen meteorológico y del clima de la ciudad. Los datos obtenidos son también muy interesantes desde el punto de vista de los análisis comparativos de los aerosoles de origen natural y artificial y abre perspectivas para emplear la ciudad como un modelo en la estimación de los eventuales efectos de las actividades humanas sobre el clima.

El experimento marino

La expedición marítima, CAENEX-73, se realizó durante el mes de agosto de 1973, en la región del Mar Caspio, y sus propósitos fueron el estudio de la energía de la radiación atmosférica sobre una superficie con propiedades características muy específicas, dinámicas y físicas (albedo, propiedades termofísicas, rugosidad y otras). Al mismo tiempo, el CAENEX-73, era una etapa notable en los preparativos para el subprograma de radiación del GATE.

Se efectuaron series de medidas de aerosoles, de radiación y de parámetros meteorológicos sobre el agua, desde las plataformas instaladas en la isla de Artiom y en Neftyanje Kamny. Se hizo al mismo tiempo un conjunto de sondeos aerológicos y con aviones lo que hizo posible obtener una información muy amplia sobre el régimen de radiación de

la atmósfera sobre el mar y sobre los factores que lo determinan (Konratyev y Ter-Markariantz, 1973). En particular, se demostró que los aerosoles predominantes sobre el Mar Caspio eran partículas traídas del desierto de Kara Kum. La presencia de cristales de sal marina se observó solamente por debajo de los tres kilómetros de altura. Las medidas actinométricas con aviones han demostrado que por el día se produce un débil calentamiento de la capa de 500 metros junto al suelo, debido a la radiación térmica, aún sobre el mar. Los valores de absorción de los aerosoles, deducidos de las medidas espectrales efectuadas desde avión, parecen ser notablemente menores que los obtenidos en las expediciones CAENEX-70 (desierto) y CAENEX-72 (ciudad). Esto podría ser atribuido a la influencia de un albedo menor de la superficie marina, así como al papel especial del mar como *absorbente* de aerosoles, los principales manantiales de los cuales eran, en este caso, los desiertos del Asia Central (ya que durante la campaña predominaron los vientos de levante). A este respecto, y de gran interés, fueron las investigaciones realizadas durante el GATE, ya que permitieron estudiar detalladamente las particularidades de la distribución espacial, las propiedades y la génesis de los aerosoles sobre el Atlántico Tropical y su influencia sobre el régimen meteorológico, incluyendo el campo de la radiación (Konratyev y Vasilyev, 1975). Estas investigaciones revelaron la importancia de la capa de aerosoles del Sahara como un factor notable en la formación del régimen térmico de la atmósfera sobre el océano. La investigación relativa al estudio de la naturaleza de los aerosoles sobre los océanos y de su papel como factores creadores del clima debiera ser continuada, ya que hay aún muchos aspectos del problema que deben ser aclarados.

El equipo instrumental

Los notables progresos conseguidos en los estudios de la energética de la radiación de la atmósfera, como resultado de las campañas del programa CAENEX, fueron posibles debido, sobre todo, al desarrollo de nuevos instrumentos de observación en superficie, en aviones y otros. Una descripción detallada de estos equipos puede verse en diversas publicaciones disponibles (Konratyev, 1973, que contiene una lista muy amplia de referencias). Bastará, por lo tanto aquí, indicar que el factor decisivo para el éxito del programa CAENEX, fue el equipo de aparatos especiales instalados en el IL-18 GGO (Observatorio Geofísico Principal), avión que se convirtió en laboratorio volante destinado a las investigaciones sobre radiación y aerosoles en la atmósfera libre.

Las perspectivas

La terminación del programa CAENEX no sólo produjo la solución de un cierto número de problemas importantes, sino que también planteó otros nuevos (o bien, facilitó el camino para la solución de problemas que aparecieron en el curso del desarrollo de las ciencias atmosféricas). Dos de estos problemas exigen una atención especial y son muy prometedores, a saber:

- La acción recíproca entre los campos de radiación y de movimiento; y
- El experimento atmosférico global de radiación y aerosoles (EAGRA).

El EAGRA puede ser definido como un programa combinado destinado a estudiar de forma completa y a escala mundial los aerosoles sólidos y líquidos empleando todos los métodos disponibles (en el laboratorio y al aire libre, por ejemplo, mediante medidas directas y sistemas de telemetría), así como también el estudio de los aerosoles como un factor de formación del clima (de interés especial a este respecto es la investigación de los cirros). También son de importancia primordial el análisis de la influencia mutua entre el polvo y los aerosoles líquidos, y la investigación teórica y experimental de las condiciones necesarias para la formación y transformaciones de ambos tipos de aerosoles (polvo y nubes) y de su influencia sobre la energética atmosférica. Los detalles del programa EAGRA, que está fundado en parte en los resultados de las investigaciones de los programas CAENEX y EAGRA (De Luisi *et al.*, 1975) y que puede llegar a ser un componente importante del Subprograma Climático y Dinámico del GARP, merecen una consideración aparte.

REFERENCIAS

- DELUISE, J. J., FURUKAWA, P. M., GILLETTE, D. A., SCHUSTER, B. G., CHARLSON, R. J., PORCH, W. M., FEGLEY, R. W., HERMAN, B. M., RABINOFF, R. A., TWITTY, J. T. y WEINMANN, J. A. (1975): *Results of a comprehensive atmospheric aerosol — radiation experiment in the south-western United States — Part II: Radiation flux measurements and theoretical interpretation*. Borrador, pág. 25.
- GRIGORYEV, A. A. y LIPATOV, V. B. (1974): *Dust storms from the data of space investigations*. Gidrometeoizdat, Leningrado, pág. 31.
- KONDRATYEV, K. YA. (1968): *GARP and radiative factors of weather and climate*. Met. and Hyd. núm. 6, págs. 11-20.
- KONDRATYEV, K. YA. (1972): *Radiation processes in the atmosphere*. Publication OMM, número 309, pág. 214.
- KONDRATYEV, K. YA. (1973): *The Complete Atmospheric Energetics Experiment*. Publicación núm. 12 del GARP, pág. 43.
- KONDRATYEV, K. YA. y BERLIAND, M. E. (Ed.) (1974): *The Complete atmospheric energetics experiment*. Trudy, Main Geophys. Obs. Gidrometeoizdat, Leningrado. Núm. 332. Página 116.
- KONDRATYEV, K. YA., ORLENKO, L. R., RABINOVICH, YU. I., TER-MARKARIANTZ, N. E. y SHLYAKHOV, V. I. (1970): *Experimento energético complejo*. Boletín OMM. XIX, núm. 4, páginas 265-271.
- KONDRATYEV, K. YA. y TER-MARKARIANTZ, N. E. (Ed.) (1973): *Radiation investigations in the atmosphere*. Trudy, Main Geophys. Obs., Gidrometeoizdat, Leningrado. Núm. 317, página 156.
- KONDRATYEV, K. YA. y VASILYEV, O. B. (1975): *Die Bedeutung des Aerosols für den Strahlungshaushalt und sein möglicher Einfluss auf das Klima*. z. f. Met. Bd. 25, Heft. 3, páginas 129-142.
- OMM, CCO para el GARP (1975): *The Physical basis of climate and climate modelling*. Publicación del GARP, núm. 16, pág. 265.
- KONDRATYEV, K. YA. y ORLENKO, L. R. (Ed.) (1972): *The Complete Atmospheric Energetics Experiment (material de la expedición CAENEX — 70)* — Trudy, Main Geophys. Obs., Gidrometeoizdat, Leningrado. Núm. 276, pág. 279.
- KONDRATYEV, K. YA. y ORLENKO, L. R. (Ed.) (1973): *The Complete Atmospheric Energetics Experiment (CAENEX — 71)*: Trudy, Main Geophys. Obs., Gidrometeoizdat, Leningrado. Núm. 296, pág. 140.

BIBLIOGRAFIA

- KONDRATYEV, K. YA. y ORLENKO, L. R. (Ed.) (1973): *The Complete Atmospheric Energetics Experiment (resultados de la investigación para 1970-1972)*. Trudy, Main Geophys. Obs., Gidrometeoizdat, Leningrado. Núm. 322, pág. 84.
- KONDRATYEV, K. YA. et al (1971): *Resultados preliminares de la primera expedición organizada dentro del programa del experimento complejo de energética atmosférica*. Boletín OMM, XX, núm. 3, págs. 194-204.
- KONDRATYEV, K. YA. VASSILYEV, O. B., IVLEV, L. S., TER-MARKARIANTZ, N. E. y ZHALEV, V. F. (1975): *Combined experimental investigations over the Caspian Sea (CAE-NEX — 73)*, Met. e Hyd. Núm. 7, págs. 3-10.
- OMM (1975): *Preliminary scientific results of GATE*. GATE Informe núm. 14, Vols. I y II, páginas 364 y 397 respectivamente.
- TER-MARKARIANTZ, N. E. and RABINOVICH, YU. I. (Ed.) (1975): *Radiation investigations in the atmosphere*. Trudy Main Geophys. Obs., Gidrometeoizdat. Leningrado. Núm. 331, página 129.

INVESTIGACION CONJUNTA ENTRE LOS EE. UU. Y LA URSS

Por J. M. ROSEN
N. T. KJOME y
D. J. HOFMANN *

Durante la fase operativa del Experimento Completo sobre la Energía Atmosférica, del Programa de Investigación Global de la Atmósfera de la OMM, se llevó a cabo un trabajo conjunto soviético-americano sobre los aerosoles y la radiación: este experimento tuvo lugar a mediados de 1975, en las proximidades de Rylsk. En su artículo (ver páginas 281-290), el profesor K. Ya. Kondratyev cita este trabajo operativo y en esta nota damos algunos detalles más del mismo. La investigación sobre el terreno fue el resultado de un acuerdo bilateral entre los EE. UU. y la URSS, referente a una cooperación en el campo de la protección del medio ambiente.

El lugar elegido para realizar el programa sobre el terreno fue la base soviética de lanzamiento de globos, cerca de la ciudad de Rylsk (20.000 habitantes), situada a unos 500 km al sur de Moscú. Los Estados Unidos estuvieron representados por J. Rosen y N. Kjome, de la Universidad de Wyoming y la URSS por el profesor K. Ya. Kondratyev y V. Ivanov, del Observatorio Geofísico Central, L. Ivlev y O. Barteneva, de la Universidad de Leningrado, y por V. Shlyakhov, N. Zaitseva, y A. Kuzenkov del Observatorio Central Aerológico.

Las medidas propiamente dichas se concentraron en la influencia de los aerosoles sobre la radiación, tanto en la troposfera como en la estratosfera. Uno de los experimentos más importantes consistió en el lanzamiento de globos que transportaban a la vez equipo soviético y americano. Este último equipo consistió en una sonda de polvo construida por un grupo de la Universidad de Wyoming. Este instrumento constaba de un contador de partículas fotoeléctricas, sensible a partículas cuyo radio

* Los autores trabajan en el Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Wyoming.