

DISTRIBUCION GLOBAL DEL ALBEDO NORMAL DE SUPERFICIE

JULIAN W. POSEY * y PHILIP F. CLAPP **

RESUMEN

Se presentan mapas de promedio climatológico (normal) del albedo de superficie para los Hemisferios Norte y Sur y para los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre. Dichos mapas se han construido usando la información disponible sobre el promedio de albedo de varias superficies naturales y lo que se conoce de los diferentes tipos de vegetación superficial y cubiertas de hielo y nieve en todas las regiones del globo.

INTRODUCCION

El éxito de la aplicación rutinaria de modelos numéricos de predicción barotrópica y baroclínica al estudio de la circulación y al pronóstico del tiempo a corto plazo (Fawcett, 1962) ha venido alimentando la esperanza de aplicar tales métodos a la preparación de pronósticos a largo plazo. Sin embargo, para lograr esta finalidad hay dos requisitos básicos: las ecuaciones gobernantes deben modificarse convenientemente para ajustarlas a problemas especiales del pronóstico a largo plazo y las fuentes y resúmideros de energía externos e internos de la atmósfera deben incluirse, ya que al transcurrir el tiempo la Atmósfera tiende a "olvidar" su estado inicial y a tener mayor dependencia de las ubicaciones y razones de adición y substracción de las energías calorífica y cinética.

Los autores han tenido la buena fortuna de asociarse con un proyecto destinado a aplicar métodos numéricos a circulaciones promediadas en el tiempo (Adem, 1964) en las que se fija la atención en ambos requisitos. Una de las necesidades de este proyecto es conocer la distribución del albedo de superficie sobre los hemisferios, ya que el albedo determina críticamente la fracción de energía solar que puede retroalimentar a la atmósfera a través del transporte de calor sensible y latente desde la superficie de la Tierra.

Este informe es un resumen del trabajo destinado a proporcionar una burda aproximación inicial de configuracio-

* U. S. Weather Bureau.

** Extended Forecast Branch, NMC, U. S. Weather Bureau.

GLOBAL DISTRIBUTION OF NORMAL SURFACE ALBEDO

JULIAN W. POSEY * and PHILIP F. CLAPP **

ABSTRACT

Maps of climatological-average (normal) surface albedo are presented for both the Northern and Southern Hemispheres and for the months January, April, July and October. These have been constructed using available information on the average albedo of various natural surfaces and using what is known about the different types of surface vegetation and ice and snow cover in all regions of the globe.

INTRODUCTION

The successful application of barotropic and baroclinic numerical prediction models to routine short—and extended—range circulation and weather forecasts (Fawcett, 1962) has given encouragement to hopes of applying these methods to the preparation of long-range predictions. However, to achieve this goal there are two basic prerequisites: the governing equations must be suitably modified to fit the special problems of long-range prediction; and the atmosphere's external and internal sources and sinks of energy must be accounted for, because as time goes on the atmosphere tends to "forget" its initial state and become more and more dependent on the locations and rates of addition and removal of heat and kinetic energy.

The authors have had the good fortune to be associated with a project designed to apply numerical methods to time-averaged circulations (Adem, 1964) where close attention is being paid to both these requirements. One of the needs of this project is knowledge of the distribution of surface albedo over entire hemispheres; because clearly the albedo critically determines the fraction of solar energy which can be fed back into the atmosphere through a transfer of sensible and latent heat from the Earth's surface.

This report is a summary of work leading to a rough first approximation to global patterns of normal surface al-

* U. S. Weather Bureau.

** Extended Forecast Branch, NMC, U. S. Weather Bureau.

nes globales de albedo normal de superficie. Antes de seguir, debe distinguirse claramente entre lo que llamamos el albedo de superficie por unidad de área, que es la fracción o porcentaje de radiación de onda corta solar y celeste penetrante reflejada o dispersada en la interfase tierra-aire y el albedo *planetario* por unidad de área o sea la fracción de radiación solar sobre una superficie horizontal en la cima de la atmósfera que se pierde en el espacio por dispersión o reflexión desde el sistema tierra-atmósfera entero.

Los autores conocían desde el principio la dificultad de obtener estimaciones exactas del albedo global de superficie. Aún para la aparentemente no-complicada superficie de un volumen abierto de agua, el albedo depende críticamente de factores tales como la longitud de onda de la luz penetrante, el tiempo del día o estación (ángulo solar del cenit), presencia o ausencia de nubes y acción de las olas. Puesto que los últimos dos factores pueden cambiar rápidamente con el tiempo, el albedo de superficie puede cambiar por un factor de 1/2 o más en unas cuantas horas. Aún teniendo disponibles estimaciones precisas de albedo para diferentes tipos de superficie, queda el problema igualmente difícil (especialmente en tierra) de determinar el tipo de superficie (es decir, el "uso de la tierra") en cada área del globo.

Por estas razones hemos intentado estimar solo el albedo a gran escala integrado en amplias áreas (50,000 millas cuadradas) y en largos períodos de tiempo (meses calendáricos de varios años). Además, no intentamos calcular o medir nuevos valores de albedo por consideraciones físicas o teóricas originales, sino construir cartas de albedo hemisférico usando estimaciones ya disponibles en la literatura.

PROCEDIMIENTO

Se discutirá primero la construcción de cartas de albedo sobre el Hemisferio Norte.

Las únicas cartas publicadas de albedo sobre amplias áreas que conocen los autores son las de Larsson y Orvig (1961), que contienen estimaciones de albedo en intervalos de clase amplia (20%) para casi todas las regiones al norte de 65° latitud norte y para cada mes calendárico. Además, los mismos autores (Larsson y Orvig, 1961) publicaron tablas del por ciento de área promediado para todas longitudes y ocupado por clases de albedo del 5% para cada faja de 5° de latitud. Hemos usado ampliamente sus resultados, pero en vista de que estimaciones independientes de albedo para áreas cubiertas de nieve parecen diferir algo de sus valores y de que no hay cartas de albedo disponibles al sur de 65° N, preferimos comenzar desde el principio y construir nuevas cartas que cubran todas las latitudes.

a. PROMEDIO DE ALBEDO DE SUPERFICIES DIFERENTES

El primer paso consistió en estimar el albedo característico de tipos diferentes de superficies, incluyendo siempre todas las posibles variaciones latitudinales y estacionales (pero no diurnas). Las principales fuentes de información usadas fueron ciertas investigaciones de albedo en vuelos por Bauer y Dutton (1960) y valores climatológicos citados por

bedo. Before proceeding further, it is necessary to clearly distinguish between what we will call the surface albedo per unit area, which is the fraction or percentage of impinging shortwave solar and sky radiation reflected or scattered at the earth-air-interface; and the *planetary* albedo per unit area, the fraction of solar radiation on a horizontal surface at the top of the atmosphere which is lost to space by scattering or reflection from the entire earth-atmosphere system.

The authors were aware at the outset of the difficulty of obtaining accurate estimates of global surface albedo. Even for such an apparently uncomplicated surface as an open body of water, the albedo depends critically on such factors as the wavelength of the impinging light, time of day or season (solar zenith angle), presence or absence of clouds, and action of water waves. Since the latter two factors may change rapidly with time, the surface albedo may change by a factor of 1/2 or more within a few hours. Even if accurate estimates of the albedo for different types of surfaces were available, there remains the equally difficult problem (especially over the land) of determining the type of surface (i.e. "land use") for each area of the globe.

For these reasons we have attempted to estimate only the large-scale albedo integrated over large areas (50,000 square miles) and long periods of time (calendar months of several years). Furthermore, we have not attempted to compute or measure new albedo values from original physical or theoretical considerations, but have tried to construct hemispheric albedo charts using whatever estimates are readily available in the literature.

PROCEDURE

The construction of albedo charts over the Northern Hemisphere will be discussed first.

The only published charts known to the authors of albedo over large areas are those of Larsson and Orvig (1961), which contain estimates of albedo in broad (20%) class intervals for most of the region north of 65° north latitude, and for each calendar month. In addition, these same authors (Larsson and Orvig, 1962) published tabulations of the percent of area, averaged for all longitudes, occupied by 5% albedo classes for each 5° latitude belt. We have made extensive use of their results, but since independent estimates of albedo for snow-covered areas appear to differ somewhat from their values and since no charts of albedo are available south of 65° N, we preferred to start from the beginning and construct new charts covering all latitudes.

a. AVERAGE ALBEDO OF DIFFERENT SURFACES

The first step was to obtain estimates of the characteristic albedo for different types of surfaces, including wherever possible latitudinal and seasonal (but not diurnal) variations. The principal sources of information used were certain flight investigations of albedo by Bauer and Dutton (1960), and climatological values listed by Budyko (1958)

Budyko (1958) y las *Tablas Meteorológicas Smithsonianas* (List, 1951).

Budyko publicó una tabla conveniente dando el albedo de volúmenes de agua abiertos como función de latitud y estación. Simplemente adoptamos sus valores sin cambios. Se resumen para los primeros cuartos de año en las Figs. 2 a 9. Hay que hacer notar que Budyko no consideró el efecto de nubes y olas sobre el albedo de superficie en agua, pues no pensaba que tales efectos fueran importantes para estimaciones climatológicas de radiación absorbida. En la Tabla I se incluyen los valores que se adoptaron para superficies distintas de volumen abiertos de agua. En las figuras y en la Tabla I todos los valores de albedo se expresan en porcentaje.

En algunos casos los valores de la Tabla I representan un arreglo de diferentes fuentes. Sin embargo, nos dimos cuenta que los valores de Budyko tienden a ser algo más altos que los incluidos en las *Tablas Smithsonianas* para un tipo dado de superficie. Interpretamos esto como significando que las estimaciones usadas por Budyko se hicieron en latitudes más altas que para las *Tablas Smithsonianas*. Por ello consistentemente dimos a los valores de Budyko mayor peso en latitudes más altas.

A continuación se dará una discusión para explicar los valores seleccionados para incluirse en la Tabla I. Debe tenerse en mente que en algunos casos, valores substancialmente diferentes podrían haber sido igualmente aceptables, sin embargo, cada selección se hizo sólo después de considerar cuidadosamente la información disponible.

1. HIELO EN AGUA NAVEGABLE POR ROMPEHIELOS

Los atlas de hielo disponibles (v. gr. U. S. Navy Hydrographic Office, 1955) indican que ciertas áreas son "navegables por rompehielos". Tales áreas se consideraron cubiertas en 75% por hielo y 25% por agua. Usando el albedo de Budyko de 35 para el hielo del mar (Budyko, 1958, Tabla 4, pág. 36) más 5 para la probable presencia de nieve y cerca de 20 para agua libre en altas latitudes en la Primavera temprana y Otoño tardío (Budyko, 1958, Tabla 6, pág. 40) se obtiene un albedo medio de 35. Como se explicará después, fue necesario modificar este valor en Invierno.

2. HIELO EN AGUA NAVEGABLE POR GRANDES BARCOS

Sólo se supuso un 50% de cubierta de hielo para esta categoría y como ocurre normalmente a la mitad o final del Verano, el albedo para agua libre puede ser más bajo, posiblemente sólo 10. Por ello sacamos un valor general de 25.

3. AGUA CUBIERTA POR HIELO SÓLIDO O BANQUIZA

En general, se supuso a este hielo cubierto por nieve y consiguientemente, se usaron valores muy altos de albedo. aunque no tan altos como podrían encontrarse en un campo de nieve liso y brillante, tal como la cubierta de hielo en Groenlandia. En Verano se sabe que se forman grandes espacios con agua por encima del hielo, disminuyendo considerablemente el albedo. Informes de la Estación Flotante de

and in the *Smithsonian Meteorological Tables* (List, 1951).

Budyko published a convenient table giving the albedo of open bodies of water as a function of latitude and season. We simply adopted his values without change. They are summarized for the four quarters of the year in Figs. 2 to 9. It should be noted that Budyko did not allow for the effect of clouds and waves on surface albedo over water, because he did not consider these effects important for climatological estimates absorbed radiation. In Table I are listed the values that were adopted for surfaces besides open bodies of water. In the figures as in Table I, all albedo values are expressed in percent.

In some instances the values in Table I represent a compromise between different sources. However, we noted that Budyko's values tended to be somewhat higher than those listed in the *Smithsonian Tables* for a given type of surface. We interpreted this as meaning that the estimates used by Budyko were made at higher latitudes than those of the *Smithsonian Tables*. Therefore we consistently gave Budyko's values greater weight at higher latitudes.

A brief discussion will next be given in explanation of the values selected for inclusion in Table I. It should be kept in mind that in some cases substantially different values might have been just as reasonable, although each choice was made only after careful consideration of the available information.

1. ICE IN WATER NEVIGABLE TO ICEBRAKERS

Available ice atlases (e.g. U. S. Navy Hydrographic Office, 1955) indicate certain areas as "navigable to icebreakers". These areas were assumed to be 75% covered by ice and 25% by water. Using Budyko's albedo of 35 for sea ice plus 5 for the probable presence of snow, and about (Budyko, 1958, Table 4, p. 36), 20 for open water at high latitudes in early Spring or late Fall (Budyko, 1958, Table 6, p. 40), one gets a weighted mean albedo of 35. As will be explained later it was found necessary to modify this value in Winter.

2. ICE IN WATER NAVIGABLE TO HEAVY SHIPS

Only 50% ice cover was assumed for this category of ice, and since this normally occurs in middle or late Summer, the albedo for open water is likely to be lower, possibly only 10. Hence we get an overall value of 25.

3. SOLID ICE-COVERED WATER OR PACK-ICE

This ice was assumed in general to be covered by snow, and therefore quite high albedo values were used; although not as high as might be found over a smooth, bright snowfield, such as that on the Greenland ice cap. In Summer, extensive pools of water are known to form on top of the ice, lowering the albedo considerably. Reports from Floating Ice Station "B" (U. S. Weather Bureau, 1962) showed the

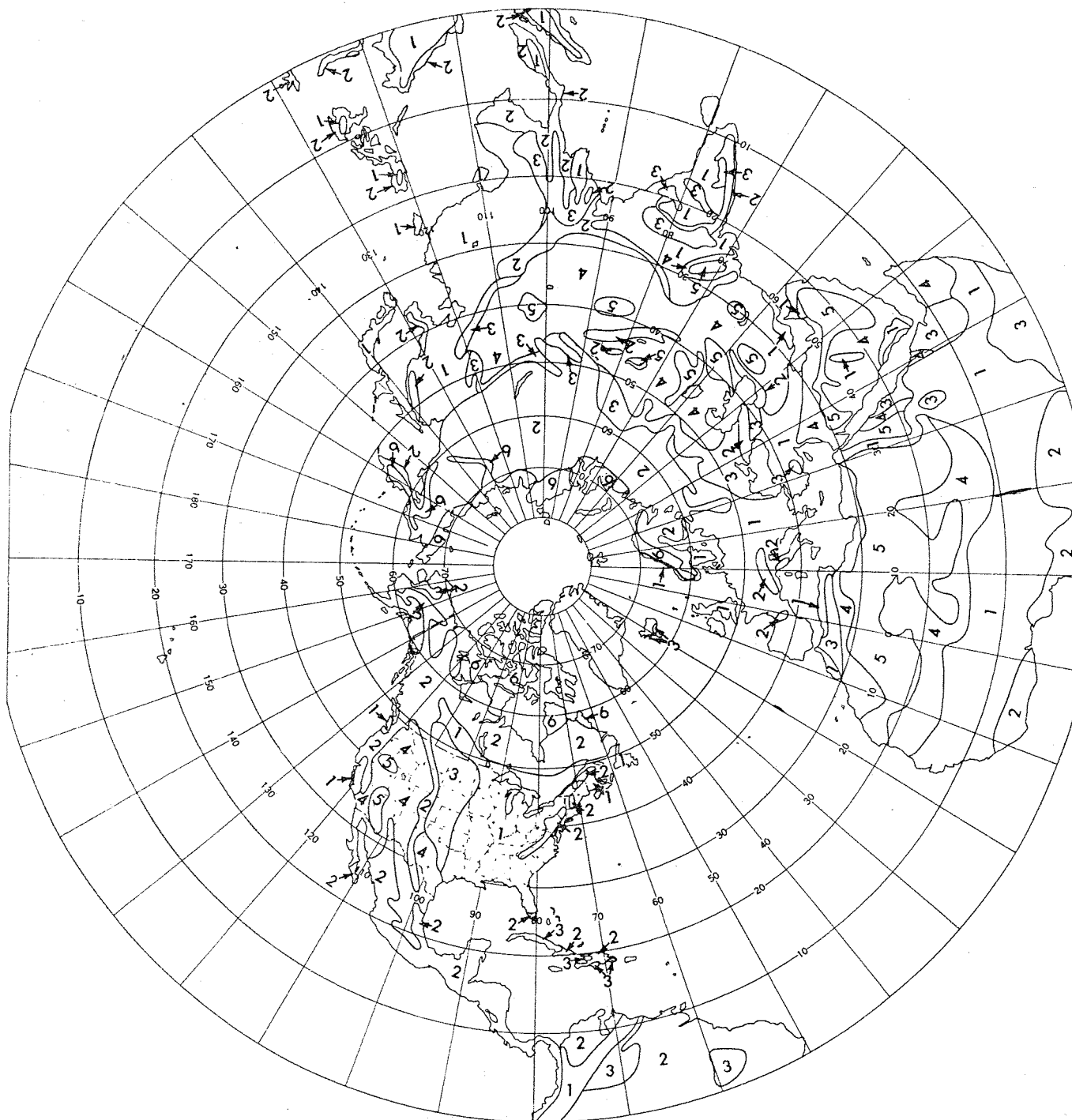


Fig. 1. Tipos de uso de tierra (según Bartholomew, 1922). 1. Madera, pasto y cultivo; 2. Bosque; 3. Estepa y pasto; 4. Estepa-desierto; 5. Desierto; 6. Tundra, montaña y flora ártica.

Fig. 1. Land-use types (after Bartholomew, 1922). 1. Woodland, grass and cultivation; 2. Forest; 3. Steppe and grassland; 4. Steppe-desert; 5. Desert; 6. Tundra, mountain and Arctic flora.

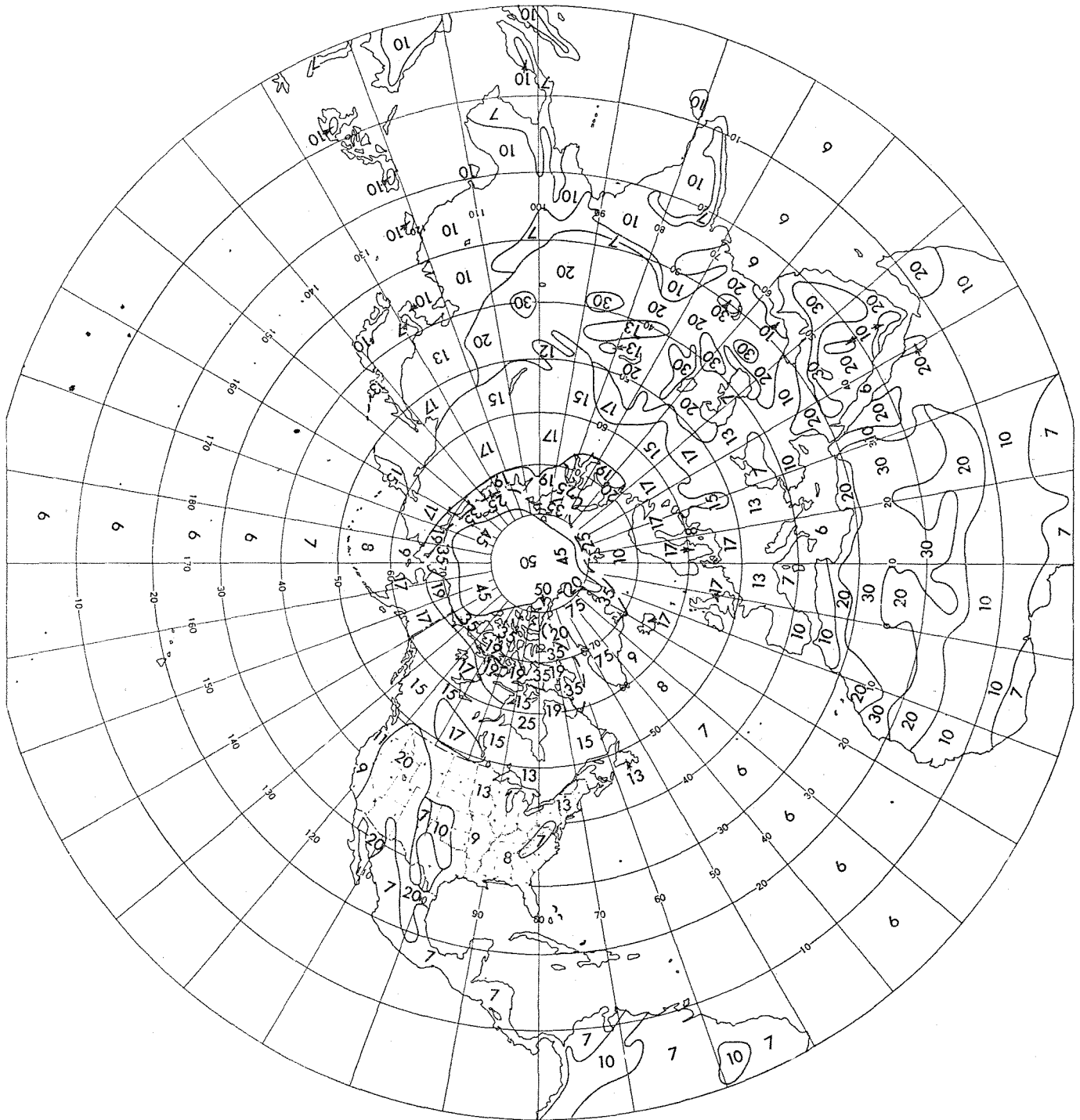


Fig. 2. Albedo normal de superficie, Enero, Hemisferio Norte. Los números son porcentos de albedos. La línea gruesa interrumpida sobre los océanos nórdicos es el límite entre hielo navegable por rompe-hielos o por grandes barcos; sobre tierra, el límite de la nieve (o línea de 50% de probabilidad de nieve). La línea continua delgada principalmente en el Océano Artico el límite de la banquisa sólida. Las líneas continuas delgadas sobre tierra son discontinuidades de albedo siguiendo los límites de uso de tierra de la Fig. 1.

Fig. 2. Normal surface albedo, January, Northern Hemisphere. Numbers are albedoes in percent. Heavy dashed line over northern oceans is boundary separating ice navigable to ice breakers from that navigable to heavy ships; over land, snow boundary (or line of 50% probability of snow). Light solid line mainly in Arctic Ocean, boundary of solid pack ice. Light solid lines over land are discontinuities in albedo, following land-use boundaries of Fig. 1.

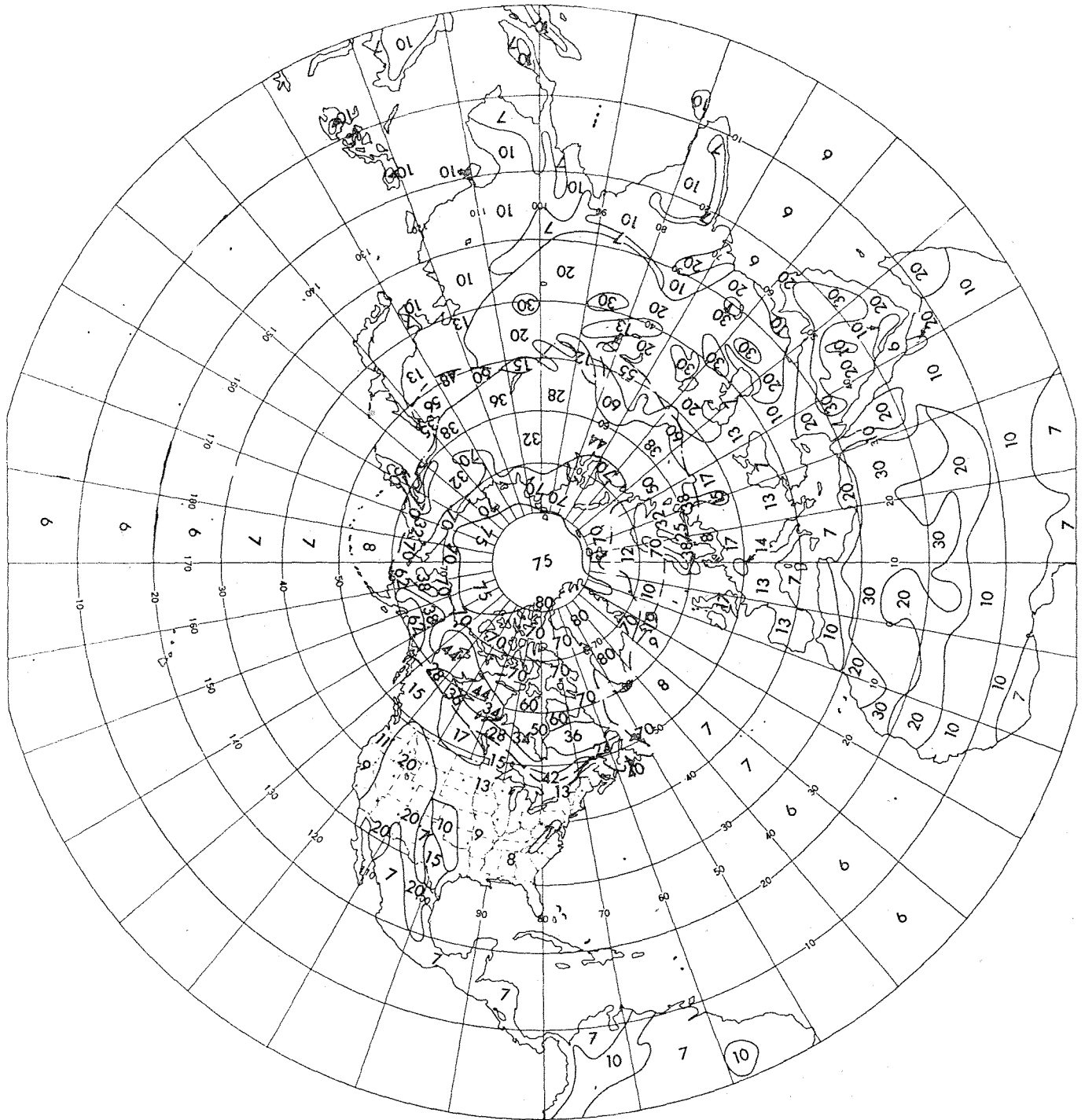
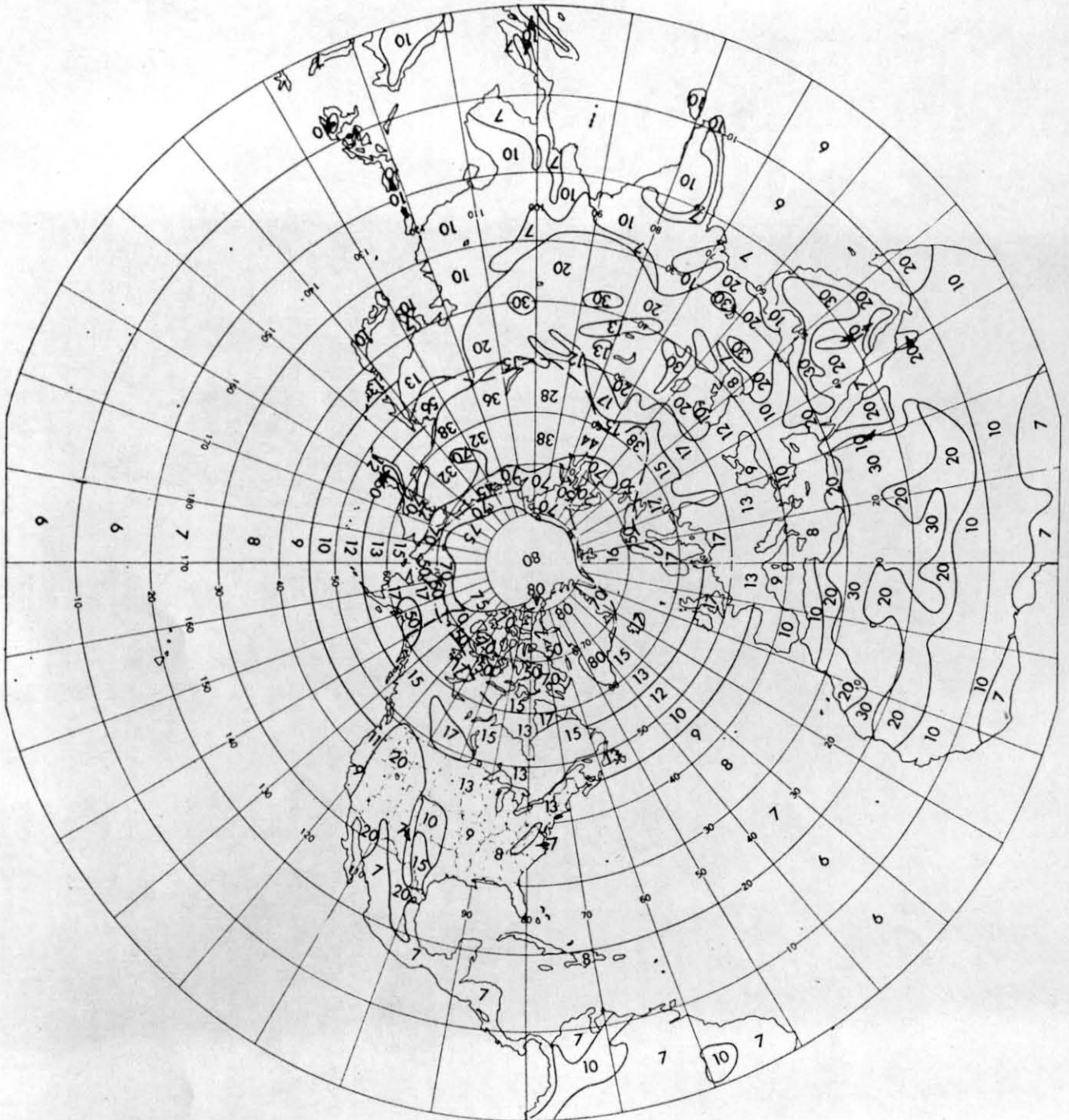


Fig. 3. Albedo normal de superficie, Abril, Hemisferio Norte (ver Fig. 2 para texto).

Fig. 3. Normal surface albedo, April, Northern Hemisphere (See Fig. 2 for legend).

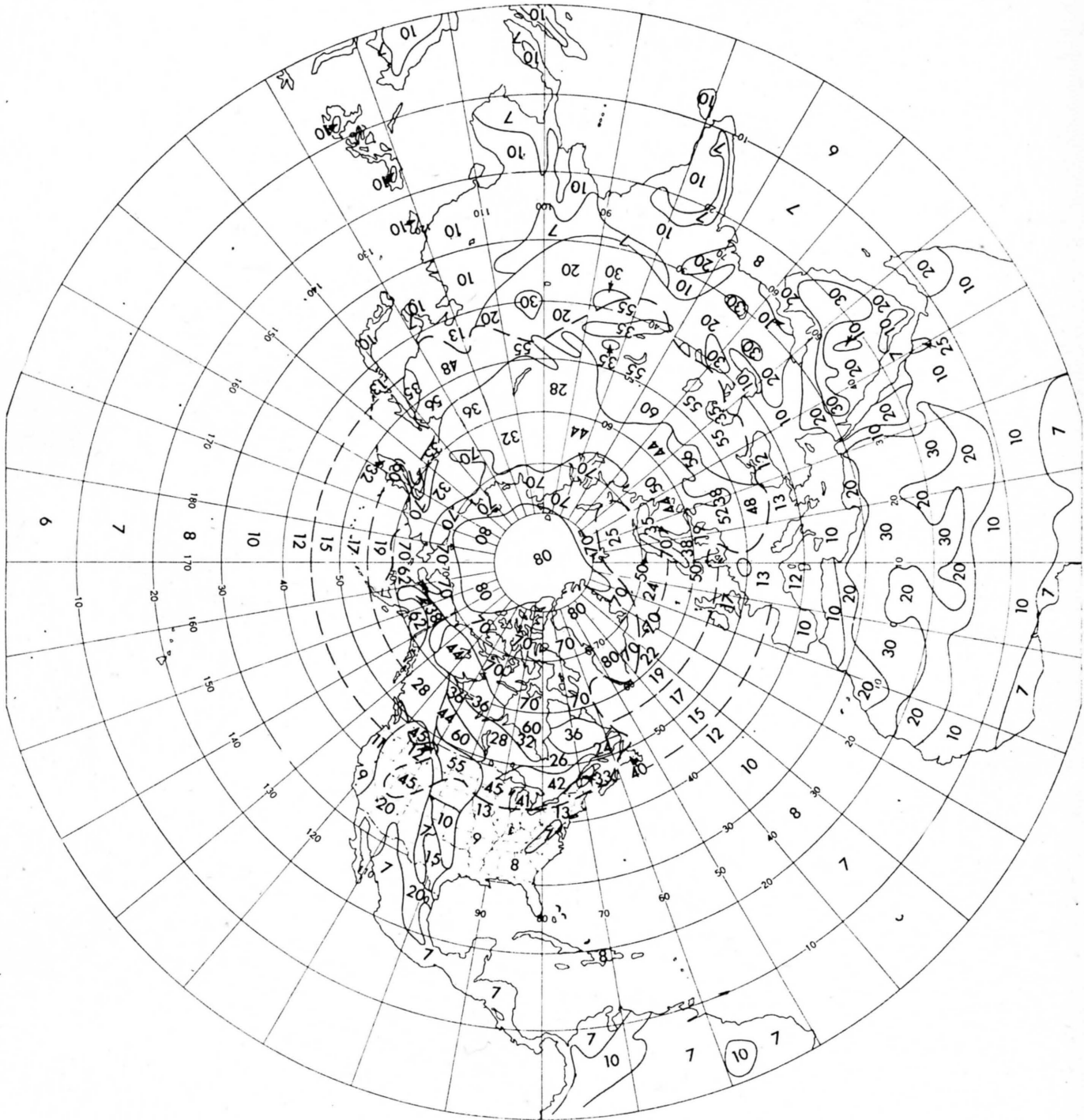


5 oct.

Fig. 2 Albedo normal de superficie, Julio, Hemisferio Norte (ver Fig. 2 para texto).

5 oct.

Fig. 1 Normal surface albedo, July, Northern Hemisphere (See Fig. 2 for legend).



2

Enero

Fig. 5. Albedo normal de superficie, ~~Octubre~~, Hemisferio Norte (ver Fig. 2 para texto).

2

Fig. 5. Normal surface albedo, ~~October~~, Northern Hemisphere (See Fig. 2 for legend).

January

Hielo "B" (U. S. Weather Bureau, 1962) mostraron que el albedo sólo fue de 36 en Agosto de 1958. Ya que los valores de Larsson y Orvig (1962) cubren las latitudes de banquiza, los valores de nuestras cartas finales se hicieron concordar con su estudio en el Océano Artico.

4. NIEVE EN CAMPOS ABIERTOS, TUNDRA Y PRADERA

Budyko señala un albedo de 80 para 60° N y más altas latitudes en áreas libres cubiertas por nieve (Budyko, 1958, Tabla 5, pág. 37). Sin embargo, consideraremos que la cubierta de nieve puede ser especialmente discontinua, ya que sobresalen vegetación baja y rocas y el campo puede quedar enteramente desnudo al ser barrido por viento. Algunas de nuestras fuentes de referencia han indicado que grandes extensiones de tierra en altas latitudes quedan despojadas de nieve aun en Invierno (v. gr. White y Foscue, 1943). Además, los estudios de Miller (1956) y otros muestran que aún en altas latitudes donde no hay fusión, los cambios en la estructura cristalina de la superficie de nieve (debidos a depósitos de escarcha) producen albedo notablemente más bajo. Por razón de la probable presencia de áreas barridas por viento y en vista del trabajo de Miller, se usó un albedo de 70 áreas de tundra.

Las áreas libres en región boscosa fueron consideradas como teniendo una cubierta de nieve más continua, de modo que se escogió un albedo de 80. Hay dos razones para esperar valores más altos de tierras boscosas: las nevadas son mayores y las áreas libres dentro del bosque tal vez quedan más protegidas de los vientos arrasantes.

Al sur de 60° N Budyko da un albedo de 70 para la nieve de carácter "estable" (Budyko, 1958, Tabla 5, pág. 37). Ya que la nieve al sur de 60° N es frecuentemente muy inestable (es decir, sujeta a repetida fusión y re-congelación) se escogió un valor medio de 60 entre 60° N y 50° N. La nieve es aún más estable al sur de 50° N, de manera que se decidió usar un valor de 55.

5. NIEVE EN BOSQUES DE CONÍFERAS

Budyko no incluye esta categoría en sus Tablas 4 y 5, pero la Tabla 154 de las *Tablas Meteorológicas Smithsonianas* (List, 1951, págs. 442-443) indican que los bosques caducos cubiertos por nieve tienen un albedo con porcentaje de 12 puntos más alto que si no tuvieran nieve. Hemos supuesto que el aumento en albedo para bosques de coníferas con nieve es mucho menor, pues usualmente la nieve queda en las copas de los árboles sólo unos días después de caer (excepto en áreas extremadamente frías con pocos vientos). Las oscuras ramas perennes cubren efectivamente la nieve sobre el piso, especialmente en áreas densas, produciendo pequeño aumento de albedo, por lo que supusimos sólo un porcentaje de 4 a 6 puntos. Agregando 4 a 6 a los 14 a 16 para bosques de coníferas y nieve en altas latitudes (partes 8a y b, Tabla I) resulta un albedo de casi 20.

albedo to be only 36 for August, 1958. Since the Larsson and Orvig values (1962) covered the latitudes of pack ice, values on our final charts were made to agree with their study over the Arctic Ocean.

4. SNOW IN OPEN FIELDS, TUNDRA AND PRAIRIE

Budyko gives an albedo of 80 for 60° N and higher latitudes for open areas covered by snow (Budyko, 1958, Table 5, p. 37), but we assumed that the snow cover may be spacially discontinuous because of protruding low vegetation and rocks, and the ground may be entirely bare where scoured by wind. Several of our source references have indicated that large expanses of land at high latitudes are often blown clear of snow even in Winter (e.g. White and Foscue, 1943). In addition, studies by Miller (1956) and others show that even at high latitudes where no melting has occurred, changes in the crystal structure of the snow surface (due to frost deposits) lead to noticeably lower albedo. Because of the probable presence of wind-swept areas, and in view of Miller's work, an albedo of 70 was used in tundra areas.

Open areas within a forest region were considered to have a more unbroken snow cover, so here an albedo of 80 was chosen. There are two reasons for expecting higher values near forest lands; snowfall is probably heavier, and open areas within the forest perhaps somewhat more protected from scouring winds.

South of 60° N Budyko gives an albedo of 70 for snow of "stable" character (Budyko, 1958, Table 5, p. 37). Since snow south of 60° N is often quite unstable (i.e. subject to repeated melting and re-freezing) an average value of 60 was chosen between 60° N and 50° N. Snow is even more unstable south of 50° N, so here it was decided to use a value of 55.

5. SNOW IN CONIFEROUS FOREST

Budyko does not include this category in his Table 4 and 5. but Table 154 of the *Smithsonian Meteorological Tables* (List, 1951, pp. 442-443) indicates that snow-covered deciduous forest has an albedo about 12 percentage points higher than it does without snow. We have assumed that the increase in albedo for coniferous forest with snow is much less, because snow usually remains in tree tops for only a few days after a fresh fall. (Exceptions occur in extremely cold areas with little wind). The dark evergreen branches effectively cover the snow on the ground, especially in dense stands, leading to a small increase in albedo, which we have assumed to be only 4 to 6 percentage points. Adding 4 to 6 to the 14 to 16 for snow-free coniferous forest at high latitudes (item 8a and b, Table I) gives an albedo of about 20.

6. NIEVE EN BOSQUES CADUCOS

Usando un albedo de 18 para bosques caducos sin nieve según la Tabla 5 de Budyko (parte 7a de nuestra Tabla I) más 12 para el efecto de nieve, como se mencionó antes, resulta un albedo de 30. El estudio de Bauer y Dutton (1960) indica valores mucho más altos de albedo bajo con condiciones similares. Sin embargo, es necesario considerar el hecho de que se encontraron algunas pequeñas granjas dispersas en las áreas boscosas de Wisconsin, sit iode su estudio. Tomamos en cuenta la presencia de claros en una forma especial que será explicada en la siguiente sección.

7. BOSQUES CADUCOS SIN NIEVE

Se usaron valores de Budyko al norte de 60° N y de las *Tablas Smithsonianas*, que se consideraron mejores al sur, de 40° N. Entre 40° N y 60° N los valores se usaron para obtener un cambio continuo entre latitudes más bajas a más altas. Estos últimos valores también concuerdan con un albedo de 12 a 15 para los montes boscosos de Wisconsin, obtenidos por Bauer y Dutton (1960).

El albedo de bosques caducos sin nieve puede variar de Verano a Invierno. Sin embargo, el promedio de valores de Invierno sin nieve en Wisconsin fueron muy próximos al promedio de valores de Verano en la misma área.

8. BOSQUES DE CONÍFERAS SIN NIEVE

Al norte de 50° N los valores del albedo se basaron en las Tablas 4 y 5 de Budyko mientras al sur de 40° N se escogieron de acuerdo con valores Smithsonianos para "bosques verdes". Para tener una variación continua con la latitud, fue seleccionado un valor intermedio entre 40° N y 50° N.

9. CAMPOS, PASTIZALES, TUNDRA Y ESTEPA

Al norte de 50° N se usaron valores calculados según Budyko mientras al sur de 40° N se usó un promedio de valores Smithsonianos para "campos" con mayor apoyo en el estudio de Bauer y Dutton, en Wisconsin, entre 40° N y 50° N.

10. SABANAS Y SEMI-DESIERTOS

Budyko señala un albedo de 25 para sabanas secas y semi-desiertos y de 18 para una sabana húmeda. Sin embargo, nuestro mapa de uso de la tierra, discutido en la siguiente sección) no incluye la categoría "sabana" sino que designa como "desierto-estepa" a muchas áreas, frecuentemente consideradas como sabanas, en otras fuentes. Como transacción general, todas las áreas consideradas como desierto-estepa recibieron un albedo de 20.

Tal vez pueda lograrse algo mejor permitiendo un cambio en el albedo de la estación húmeda a la seca, pero no se procedió así en el Hemisferio Norte. Esa corrección fue introducida en las cartas del Hemisferio Sur (Figs. 6 a 9).

6. SNOW IN DECIDUOUS FOREST

Using an albedo of 18 for snow-free deciduous forest, from Budyko's Table 5 (item 7a, our Table I), plus 12 for the effect of snow, as mentioned previously, yields an albedo of 30. The study of Bauer and Dutton (1960) indicates much higher values of albedo under similar conditions. However, it is necessary to allow for the fact that some small farms are interspersed through the wooded areas of Wisconsin, the site of their study. We allow for the presence of clearings in a special fashion which will be clarified in the next section.

7. DECIDUOUS FOREST WITHOUT SNOW

Budyko's values were used north of 60° N and those from the *Smithsonian Tables* were considered best south of 40° N. Between 40° N and 60° N the values were chosen so as to obtain a continuous change from lower to higher latitudes. These latter values are also in agreement with an albedo of 12 to 15 for the wooded hills of Wisconsin, obtained by Bauer and Dutton (1960).

The albedo of deciduous forest without snow may vary from Summer to Winter. However, an average of the snow-free winter values in Wisconsin were very close to the average summer values in the same area.

8. CONIFEROUS FOREST WITHOUT SNOW

Albedo values north of 50° N were based on Budyko's Tables 4 and 5, while that south of 40° N was chosen in agreement with Smithsonian values for "green forest". To give a continuous variation with latitude, an intermediate value was selected between 40° N and 50° N.

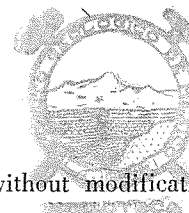
9. FIELDS, GRASSLAND, TUNDRA AND STEPPE

North of 50° N, estimates from Budyko's values were used, while south of 40° N an average of Smithsonian values for "fields" was used with the Wisconsin study of Bauer and Dutton being given most weight between 40° N and 50° N.

10. SAVANNAS AND SEMI-DESERTS

Budyko gives an albedo of 25 for a dry savanna and semi-desert, and 18 for a moist savanna. However, our land-use map (discussed in the next section) does not employ the "savanna" category, but designates as "steppe-desert" many areas often indicated as savanna in other sources. As a rough compromise, all areas indicated as steppe-desert were assigned on albedo of 20.

Perhaps some improvement could be made here by allowing for a change in albedo from the moist to the dry season, but this was not done for the Northern Hemisphere. This correction was incorporated in the Southern Hemisphere charts (Figs. 6 to 9).



11. DESIERTOS

Se usaron los valores de Budyko sin modificación para todas las áreas desérticas.

12. SELVAS LLUVIOSAS

Los valores Smithsonianos para "bosques verdes" se consideraron los mejores para las selvas tropicales.

b. DETERMINACIÓN DEL USO DE LA TIERRA

Después de escoger los valores de albedo para varias superficies naturales, el siguiente paso consistió en obtener una carta hemisférica mostrando la distribución de la vegetación natural o de la cubierta superficial sobre tierra. Un mapa de "uso de la tierra" para el Hemisferio Norte, conveniente como base de nuestro trabajo, se encuentra en Bartholomew (1922). Se transformó la proyección Mercator a otra estereográfica polar, como se indica en la Fig. 1, empleándose seis tipos básicos de uso de la tierra que se describen en el texto de la figura.

Revisando otras fuentes para determinar el uso de la tierra se notó que las áreas de la Fig. 1 clasificadas como bosque (es decir, tipo Núm. 2) contenían muchas granjas y otras regiones cultivadas y que las regiones designadas como tipo Núm. 1 (maderas, pastos y cultivos) podían tener hasta 65% de bosque. Examinando la Tabla I puede verse que el factor aislado más importante para determinar el albedo con nieve es la presencia o ausencia de cubierta boscosa en una área dada. El resto de las categorías de tierras tiene casi el mismo albedo. En consecuencia, antes de seguir adelante, era necesario estimar el porcentaje de tierra boscosa en cada región-tipo de la Fig. 1.

Un estudio de Kung y Lettau (1961) indica el porcentaje de bosque en bandas latitudinales de 5-grados entre 30° N y 50° N en Norte-América y en bandas de 10-grados para el resto de áreas continentales en los Hemisferios Norte y Sur. Ya que intentábamos preparar mapas geográficos de albedo, se usó la siguiente información adicional en sentido altamente cualitativo y aproximado para obtener el porcentaje de bosques en cuadros de 5-grados de latitud-longitud entre 30° N y 50° N sobre Norte-América y en cuadros de 10-grados en el resto.

Existían diagramas punteados de superficies boscosas (10,000 acres por punto) para los Estados Unidos (National Resources Board, 1934). También se usaron indicaciones indirectas tales como cartas de distribución de población en la U.R.S.S. (Gregory y Shave, 1948), diagramas punteados de superficies trigueras en Europa y Asia (Jones y Whittlesey, 1925) y diagramas punteados de la superficie cultivada total en China (Cressey, 1934). La última fuente tiene también una tabla que muestra el porcentaje de tierra de granjas en cada provincia y un mapa con el porcentaje de tierras boscosas en diferentes partes de China.

El porcentaje exacto de tierras boscosas no pudo determinarse con certeza usando dicho material. Pero, las estimaciones finales se comprobaron sumando cada banda latitudi-

11. DESERTS

Budyko's value was used without modification for all desert areas.

12. TROPICAL RAIN FORESTS

Smithsonian values for "green forest" were considered best for tropical forests.

b. DETERMINATION OF LAND USE

Following the choice of albedo values for the various natural surfaces, the next step was to obtain a hemispheric chart showing the distribution of natural vegetation or surface cover over land. A "land-use" map for the Northern Hemisphere, suitable as a basis for our work, is that of Bartholomew (1922). This was transferred from a Mercator to a polar-stereographic projection, and is shown in Fig. 1. Six basic land-use types are shown, and are defined in the legend to the figure.

A check of other sources for determining land use showed that the areas in Fig. 1 typed as forest (i.e. type No. 2) contain many farms and other cultivated regions; and regions designaede as type No. 1 (woodland, grass and cultivation) may contain as much as 65% forest. Reference to Table I will show that the most important single factor in determining albedo with snow is the presence or absence of forest cover in a given area. All other land categories have about the same albedo. Therefore, before proceeding further it was necessary to estimate the percent of forest land in each type-region of Fig. 1.

A study by Kung and Lettau (1961) gives the percentage of forest in 5-degree latitude bands between 30° N and 50° N in North America, and in 10-degree bands for the remainder of continental areas both in the Northern and Southern Hemispheres. Since our aim was to prepare geographical maps of albedo, the following additional information was used in a highly qualitative and approximate sense to obtain the percentage of forest in 5-degree latitude-longitude blocks from 30° N to 50° N over North America and in 10-degree blocks elsewhere.

Dot diagrams of forest acreage (10,000 acres per dot) were available for the United States (National Resources Board, 1934). Indirect evidence was also used, such as charts showing the population distribution in the U.S.R.R. (Gregory and Shave, 1948), dot diagrams of wheat acreage in Europe and Asia (Jones and Whittlesey, 1925), and dot diagrams of total cultivated acreage in China (Cressey, 1934). The last reference also has a table showing the percentage of farm land in each province, and a map giving the percentage of land in forest for the different parts of China.

The exact percentage of forest land could not be precisely ascertained using this material. However, the final estimates were checked by summing over each latitude band and for

TABLA I

TABLE I

VALORES CARACTERISTICOS DE ALBEDO PARA SUPERFICIES NATURALES
 CHARACTERISTIC ALBEDO VALUES FOR NATURAL SURFACES

Superficie Surface	Albedo
1. Hielo en agua navegable por rompehielos Ice in water navigable by icebreakers	35
2. Hielo en agua navegable por barcos grandes Ice in water navigable by heavy ships	25
3. Banquiza "sólida" cubierta por nieve "Solid" pack ice covered by snow	45-80 con variaciones para ajustar con Larsson y Orvig with variations made to agree with Lars- son and Orvig
4. Nieve en campos abiertos, tundra, pradera Snow in open fields, tundra, prairie	
(a) 60° Lat y más al Norte 60° Lat and Northward	70 a 80
(b) 50 - 60° N	60
(c) Menos de 50° Lat Less than 50° Lat	55
5. Nieve en bosque de coníferas Snow in coniferous forest	20
6. Nieve en bosque caduco Snow in deciduous forest	30
7. Bosque caduco sin nieve Desiduous forest without snow	
(a) 60° Lat y más al Norte 60° Lat and Northward	18
(b) 50 - 60° N	15
(c) 40 - 50° N	12
(d) Menos de 40° N Less than 40° N	7
8. Bosque de coníferas sin nieve Coniferous forest without snow	
(a) 60° Lat y más al Norte 60° Lat and Northward	16
(b) 50 - 60°	14
(c) 40 - 50° N	10
(d) Menos de 40° N Less than 40° N	7

Superficie Surface	Albedo
9. Campos, pastos, tundra y estepa Fields, grassland, tundra, and steppe	
(a) 60° Lat y más al Norte 60° Lat and Northward	19
(b) 50 - 60° N	17
(c) 40 - 50° N	14
(d) Menos de 40° N Less than 40° N	10
10. Sabanas secas y semi-desiertos Dry savannahs and semi-deserts	20
11. Desiertos Deserts	30
12. Selva tropical lluviosa Tropical rain forest	7

dinal y cada masa de tierra continental y comparando dichos promedios con los promedios latitudinales de Kung y Lettau (1961).

El resultado neto para áreas de tierras al norte de 30° N se resume en la Tabla II, donde el porciento de área cubierta por bosques se tabula para cada uno de los muchos segmentos de latitud-longitud y para cada tipo de uso de la tierra dentro de tal segmento. Todavía menos información para áreas de tierra al sur de 30° N está disponible, pero ya que hay poca nieve en ellas (excepto en regiones montañosas restringidas), las diferencias en albedo para bosques y tierras abiertas adyacentes no son críticas (ver Tabla I). Finalmente, debe notarse que la Tabla II no distingue entre bosques predominantemente caducos o de coníferas, aunque tal información se tiene rápidamente en otras fuentes (v. gr. Bayer, 1953) y se usó para calcular los valores del albedo.

c. EXTENSIÓN DE LA CUBIERTA DE HIELO Y NIEVE

El siguiente tema por considerar fue la extensión del hielo sobre océanos y lagos nórdicos. El promedio (o normal) de cubierta de hielo para cada mes se obtuvo de U. S. Navy Hydrographic Office (1955), que proporciona información bastante completa sobre el hielo en todos los volúmenes de agua apreciables del Hemisferio Norte. En ese atlas existen límites que separan el hielo navegable por rompe-hielos del hielo navegable por grandes barcos (línea fuerte discontinua en océanos nórdicos en las Figs. 2 a 5) así como límites que separan el hielo ocasionalmente navegable por rompe-hielos y la banquiza "sólida" (línea delgada continua). Similar información aparece en el atlas para grandes volúmenes de agua interiores (v. gr. Mar Báltico, Bahía de Hudson) pero no se indican sus límites en nuestras figuras.

La extensión normal de la cubierta de hielo y nieve sobre continentes nórdicos y especialmente en áreas montaño-

each continental land-mass, and comparing the averages with the latitudinal averages of Kung and Lettau (1961).

The net result for land areas north of 30° N is summarized in Table II, where the percent of area covered by forest is tabulated for each of many latitude-longitude segments, and for each land-use type within that segment. Even less information is available for land areas south of 30° N, but since little snow is present here (except in restricted mountain regions) the differences in albedo for forests and adjacent open lands are not critical (see Table I). Finally, it should be noted that Table I gives no distinction between predominantly coniferous or deciduous forests, but this information is readily available from several sources (e.g. Bayer, 1953), and was used in computing the albedo values.

c. EXTENT OF ICE AND SNOW COVER

The next item to be considered was the extent of ice over northern oceans and lakes. The average (or normal) ice cover for each month was obtained from U. S. Navy Hydrographic Office (1955), which gives fairly complete information on ice for all sizeable water bodies in the Northern Hemisphere. This atlas shows the boundary separating ice navigable to icebreakers from ice navigable to heavy ships (heavy dashed line in northern oceans in Figs. 2 to 5), as well as the boundary separating ice occasionally navigable to icebreakers from "solid" pack ice (light solid line). Similar information is given in the atlas for large enclosed water bodies (e.g. Baltic Sea, Hudson Bay), but the boundaries are not indicated in our figures.

The normal extent of ice and snow over northern continents and especially in mountain areas is more difficult

TABLA II

TABLE II

PORCIENTO TOTAL DE AREA TERRESTRE CON BOSQUE EN CADA UNO DE LOS SEGMENTOS CON LATITUD-LONGITUD INDICADAS (COLUMNA ENCABEZADA POR "T") Y EN CADA TIPO DE USO DE TIERRA DENTRO DEL SEGMENTO (COLUMNAS ENCABEZADAS CON NUMEROS INDICADORES DEL TIPO DE USO DE TIERRA; VER FIG. 1). BAJO CADA BANDA DE LATITUD SOLO SE INDICAN AQUELLOS TIPOS DE USO DE TIERRA QUE CONTIENEN UN PORCENTAJE SIGNIFICANTE DE BOSQUE.

TOTAL PERCENT OF LAND AREA IN FOREST IN EACH OF INDICATED LATITUDE-LONGITUDE SEGMENTS (COLUMN HEADED "T") AND IN EACH LAND-USE TYPE WITHIN THAT SEGMENT (COLUMNS HEADED WITH CODE NUMBERS OF LAND USE TYPE; SEE FIG. 1). UNDER EACH LATITUDE BAND, ONLY THOSE LAND-USE TYPES ARE LISTED WHICH CONTAIN A SIGNIFICANT PERCENTAGE OF FOREST.

Long Oeste West Long	Lat Norte North Lat	30-35				35-40				40-45				45-50			
		T	1	2	3	4	T	1	2	3	4	T	1	2	3	4	
	50-55													50	50		
	55-60													50	50		
	60-65													60	60		
	65-70									60	60			70	60	90	
	70-75									70	60	90		55	50	90	
	75-80	40	40			55	40	95		60	50	90		55	50	90	
	80-85	65	60	90		65	50	95		30	30			55	50	90	
	85-90	65	65			35	35			20	20			50	45	90	
	90-95	55	55			25	25			20	20			40	40		
	95-100	10	25			5	10			10	20	5		5	15	2	
	100-105	25	70			30	20	10		10	80	5		5	10	4	
	105-110	35	70	20		40	80	15		10	80	5		35	80	10	40
	110-115	15	70	20		8		10		5		5		35	80	20	30
	115-120	30	70	20	20	25	80	10	10	20		20		25	80	20	
	120-125	28	30	20		40	30	80	10	80	90	20		70	20	80	10

Long Oeste West Long	Lat Norte North Lat	50-55			55-60			60-65			65-70			
		T	1	2	3	T	1	2	6	T	2	6	T	2
	50-60	75		75										
	60-70	80	30	85		55		60	10					
	70-80	75	50	80		40		60	10					
	80-90	70		70		70		70		10		10		
	90-100	70	40	80		65		70	10	20	60	10		
	100-110	10	5	60		70		70		55	60	10		
	110-120	60	40	80	10	50	40	55		55	60	10	20	60
	120-130	80		80		80		80		55	60	20	20	60
	130-140	80		80		75		80	40	30	70	20	30	60
	140-150									40	70	30	30	60
	150-160									50	70	30	30	60
	160-170									40	60	30	10	60

Long Oeste West Long	Lat Norte North Lat	30-40					40-50					50-60			60-70		
		T	1	2	3	4	T	1	2	3	4	T	1	2	T	1	2
	170-180														40	70	
	160-170														50	80	
	150-160														60	80	
	140-150	20	20				20	20				40	10	60	70	80	
	130-140	20	20				25	15	80			30	10	55	50	80	
	120-130	25	20	80			20	20	80			37	10	60	60	70	
	110-120	10	10		20		5	20				50		60	80	80	
	100-110	18	10	80	10		10		80	10		63		70	80	80	
	90-100	4		80		3	20		80	10		72		80	70	70	
	80-90	2				3	20		80	10		48		80	50	60	
	70-80	5	10	80			20		80			14		60	40	60	
	60-70	2	10	80								18		60	30	60	
	50-60	10		80			8			10	10	24	10	55	30	50	
	40-50	5	10	80			10	20	80			17	10	55	30	50	
	30-40	18	20		10	10	15	15	80	10		35	10	55	60	60	
	20-30	15	20			10	18	20		10		25	20	55	50	80	
	10-20	5	20			10	35	20	80			10	10		35	10	70
	0-10	10	20		15	10	35	20	80			20	10	70	25	20	70
	10°W-0	10	20		15	10	25	20	80			10	10				

sas es más difícil de obtener. En realidad, sería más deseable tener mapas con isolíneas de igual probabilidad de nieve. Ya que la probabilidad de nieve puede interpretarse como la fracción de días con nieve en la superficie, este parámetro puede usarse fácilmente como factor de ponderación para determinar el promedio de albedo para todos los días con o sin nieve. Se han preparado mapas de probabilidades de nieve para Norte-América en un estudio inédito de R. R. Dickson, de la Extended Forecast Branch, U. S. Weather Bureau. Por desgracia, durante la construcción de las cartas de albedo no se disponía de mapas de probabilidad para otras áreas (especialmente Eurasia) ¹ y para tales áreas usamos una estimación aproximada de línea de 50% de probabilidades basada en el procedimiento propuesto por Dickson. Aprovechando datos más completos para Norte-América, Dickson encontró que el espesor entre 1000 y 500-mb se correlacionaba bastante bien con la nieve, de modo que las líneas de espesor de 17,550-pies casi coincidían con la línea de 50% de probabilidades de nieve en elevaciones bajas, siendo la línea de 18,000-pies mejor indicadora de nieve en mayores elevaciones sobre las Montañas Rocosas. Usando esta información como "primera suposición" se determinó la línea de 50% de probabilidad para Eurasia.

Se disponía de otra información sobre límites normales de nieve en gran parte de Europa y Asia y cuando se consi-

to obtain. Actually, it would be most desirable to have maps showing isolines of equal snow probability. Since the probability of snow can be interpreted as the fraction of days with snow on the ground, this parameter can easily be used as a weighting factor in determining the average albedo for all days with and without snow. Such snow-probability maps have been prepared for North America in an unpublished study by R. R. Dickson, of the Extended Forecast Branch, U. S. Weather Bureau. Unfortunately, at the time of construction of the albedo charts, probability maps for other areas (especially Eurasia) were not available ¹ and in these areas we prepared a rough estimate of the 50% probability line based on a procedure developed by Dickson. Using the more complete data for North America, Dickson found that the 1000 to 500-mb thickness is fairly well correlated with snow, such that the 17,550-foot thickness line closely follows the 50% snow-probability line over lower elevations, with the 18,000-foot line being a better indicator of snow at higher elevations over the Rocky Mountains. Using this information a "first guess" of the 50% probability line was made for Eurasia.

Other information related to the normal snow boundary was available for much of Europe and Asia, and when these sources were considered appropriate the "first guess" es-

¹ Mientras se preparaba este informe se estaban construyendo esos mapas en la Extended Forecast Branch, U. S. Weather Bureau.

¹ At the time of preparation of this report, such maps were being constructed in the Extended Forecast Branch, U. S. Weather Bureau.

deraba que tales fuentes eran apropiadas, las estimaciones de la "primera suposición" se cambiaban adecuadamente. Así, se usó un trabajo preparado por el Servicio Meteorológico Central de China (1960) para casi todo ese país y un informe de Cardis y Hogg (1948) para Escandinavia. Las cartas con fechas medias de la primera y última cubierta de nieve, preparadas por Karol (1948), resultaron en entera concordancia con los límites de nieve estimados para líneas de espesor entre 1000 y 500-mb sobre casi toda la U.R.S.S.

Con base en tan limitada información sobre cubierta de nieve, decidimos tratar la línea de 50% de probabilidad de nieve (indicada en las Figs. 2 a 5 por la línea fuerte discontinua sobre continentes) como si fuese un límite fijo de nieves. Por tal razón, con el propósito de calcular el promedio de albedo, consideramos todas las áreas dentro de ese límite como cubiertas por nieve y todas las áreas del exterior como libres de ella.

Por el carácter discontinuo de la cubierta de nieve en terrenos de altas montañas no se intentó señalar el límite normal de nieve en los Himalayas y sólo de manera muy aproximada en las Rocosas.

También se debería mencionar aquí que la línea de 17,550-pies de espesor se usó para el Verano medio y tardío para separar áreas de albedo alto y de albedo bajo en la banquiza del Océano Artico. En general, los resultados concuerdan con los valores de albedo de Larsson y Orvig (1961, 1962) en las mismas latitudes en Verano.

d. REPARACIÓN DE CARTAS DE ALBEDO

Ya que los procedimientos llegaron a ser ocasionalmente muy complejos, se dará una breve sinopsis de algunos pasos finales en la preparación de las cartas mensuales de albedo:

En Verano, sobre aguas cubiertas por hielo, los valores de albedo anotados en las partes 1 y 2 de la Tabla I fueron usados para áreas señaladas como navegables por rompe-ielos o grandes barcos, en tanto que en el Océano Artico se usaron los valores cercanos a la cantidad inferior de la parte 3 de la Tabla I. En ambos casos se estuvo de acuerdo con las estimaciones de Larsson y Orvig (1952). En Invierno, las estimaciones de Larsson y Orvig requirieron valores de albedo considerablemente más altos que en la parte 1 de la Tabla I en las regiones señaladas como navegables por rompe-ielos. Debe notarse que para tener los datos completos se han indicado los valores para altas latitudes en Invierno, aunque tienen poca significación para el balance térmico atmosférico, debido a que el sol queda abajo del horizonte.

Sobre regiones de cubierta superficial uniforme el albedo apropiado simplemente se escogió de la Tabla I. En áreas cuyo uso de tierra indicaban una mezcla de bosques y otros tipos, fueron seleccionados porcentajes adecuados de bosques en la Tabla II y usados con la información sobre clase de bosque (es decir, de coníferas o caducos) y tipo de cubierta superficial restante (Fig. 1 y Tabla II) para obtener un albedo ponderado. Se usaron tantas subdivisiones en el mapa como se consideraron necesarias para indicar adecuadamente los diferentes valores de albedo así como para

estimate was suitably altered. Thus, a paper prepared by the Central Meteorological Bureau of China (1960) was used for most of China, and a report by Cardis and Hogg (1948) for Scandinavia. Charts showing the mean dates of first and last snow cover, prepared by Karol (1948), were found to give quite good agreement with the snow boundary as estimated from the 1000 to 500-mb thickness line over most of the U.S.R.R.

Because of this limited information on snow cover, we decided to treat the 50% probability snow line (indicated in Figs. 2 to 5 by the heavy dashed line over continents) as though it were a fixed snow boundary. Therefore for the purpose of computing average albedo we treated all areas within this boundary as snow covered, and all areas outside it as free of snow.

Because of the patch-work character of the snow cover in high mountainous terrain, no attempt was made to portray the normal snow boundary in the Himalayas, and only in a very sketchy fashion in the Rockies.

It should also be mentioned at this point that the 17,550-foot thickness line was used in middle and late Summer to separate areas of high albedo from areas of lower albedo in the pack ice over the Arctic Ocean. The results are in good agreement with the albedo values of Larsson and Orvig (1961, 1962) at the same latitudes in Summer.

d. PREPARATION OF ALBEDO CHARTS

Because the procedures were occasionally rather involved, a brief synopsis will be given of some of the final steps used in preparing the monthly albedo charts:

Over ice-covered water in Summer, the albedo values listed as items 1 and 2 of Table I were used for areas indicated as navigable to icebreakers or heavy ships; while over the Arctic Ocean, values near the lower range of item 3 of Table I were used. Both these choices were in accord with the estimates of Larsson and Orvig (1962). In winter Larsson and Orvig's estimates required considerably higher albedo values than item 1 of Table I, in the regions indicated as navigable to icebreakers. It should be noted that the indicated values at high latitudes in Winter have been included for the sake of completeness, although they have little significance for the atmospheric heat budget, since the sun is below the horizon.

Over regions of uniform ground cover, the appropriate albedo was simply selected from Table I. In those land-use areas having a mixture of forest and other types the appropriate percentage of forest was selected from Table I and used together with information on the kind of forest (i. e. coniferous or deciduous) and the type of the remaining ground cover (Fig. 1 and Table II), to obtain a weighted albedo. As many subdivisions of the map were used as were thought necessary to adequately indicate the different albedo

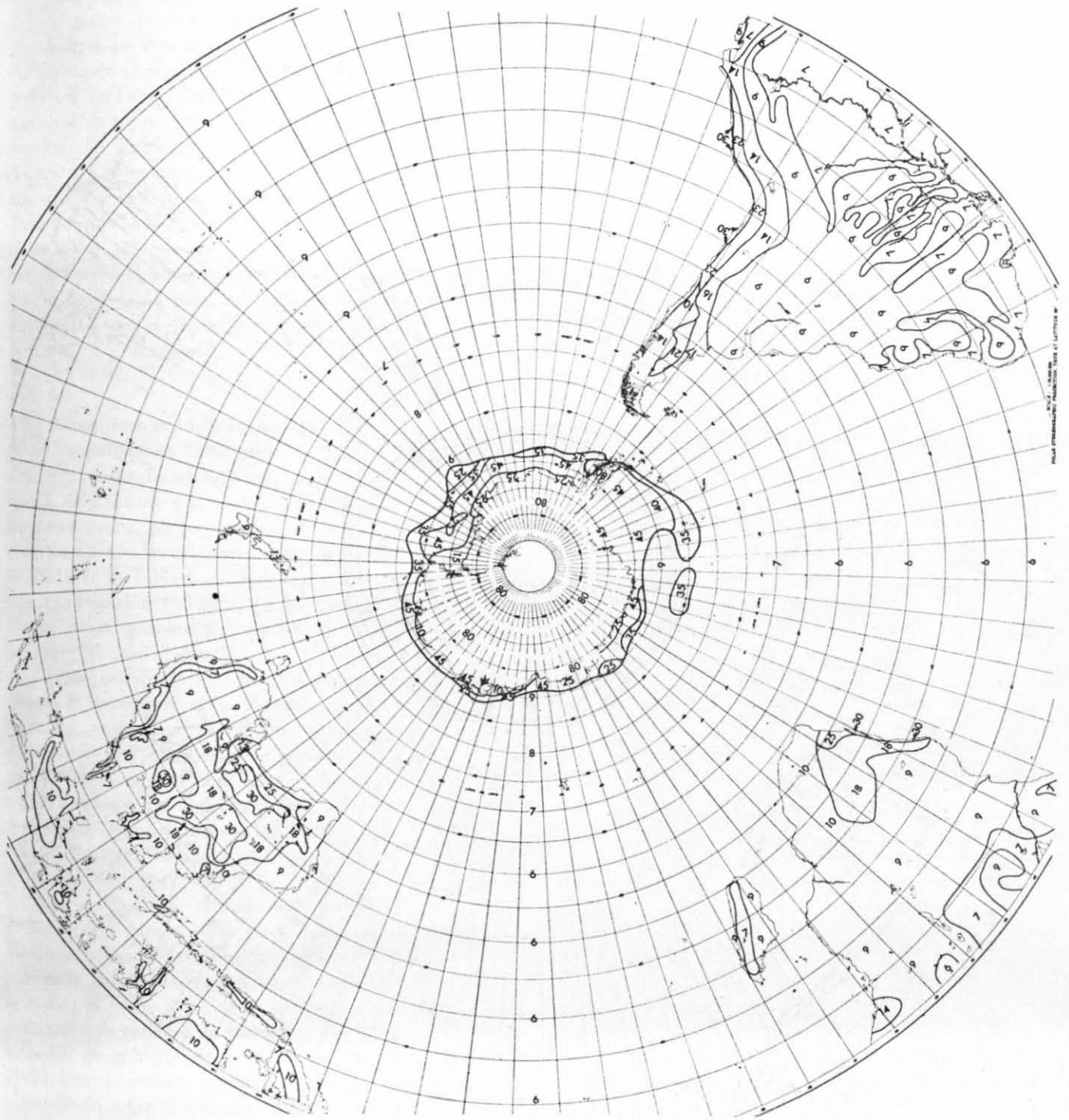


Fig. 6. Albedo normal de superficie, Enero, Hemisferio Sur. Las líneas continuas en aguas antárticas son el límite norte de la banquiza (gruesa) o de las regiones de hielo (delgadas). No se indica el límite de la nieve. Los números son porcentos de albedo.

Fig. 6. Normal surface albedo, January, Southern Hemisphere. Solid lines in Antarctic waters are northern boundary of pack ice (heavy) or boundary of ice regions (light). No snow boundary indicated. Numbers are albedo in percent.

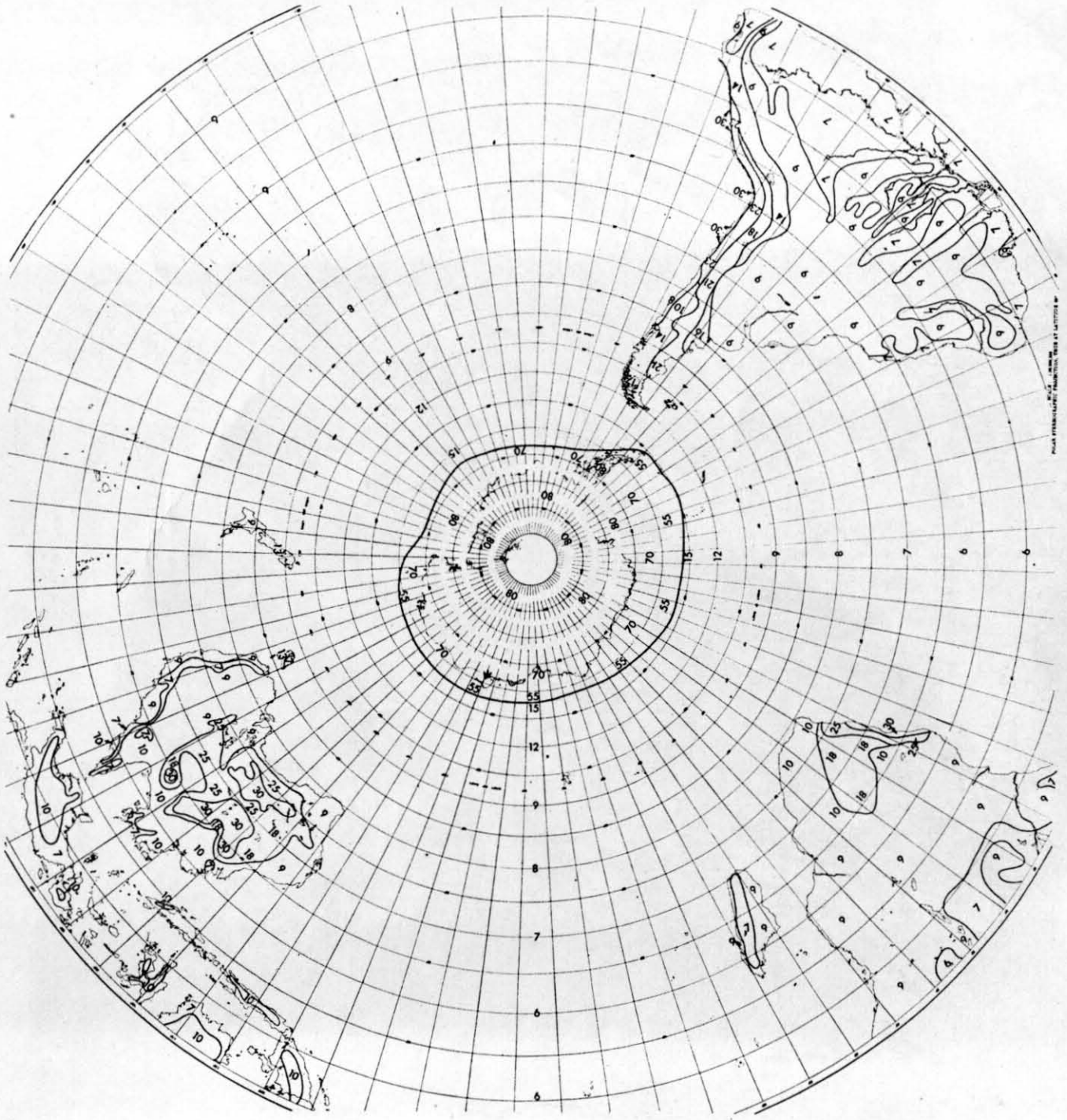


Fig. 7. Albedo normal de superficie, Abril, Hemisferio Sur (ver Fig. 6 para texto).

Fig. 7. Normal surface albedo, April, Southern Hemisphere (See Fig. 6 for legend).

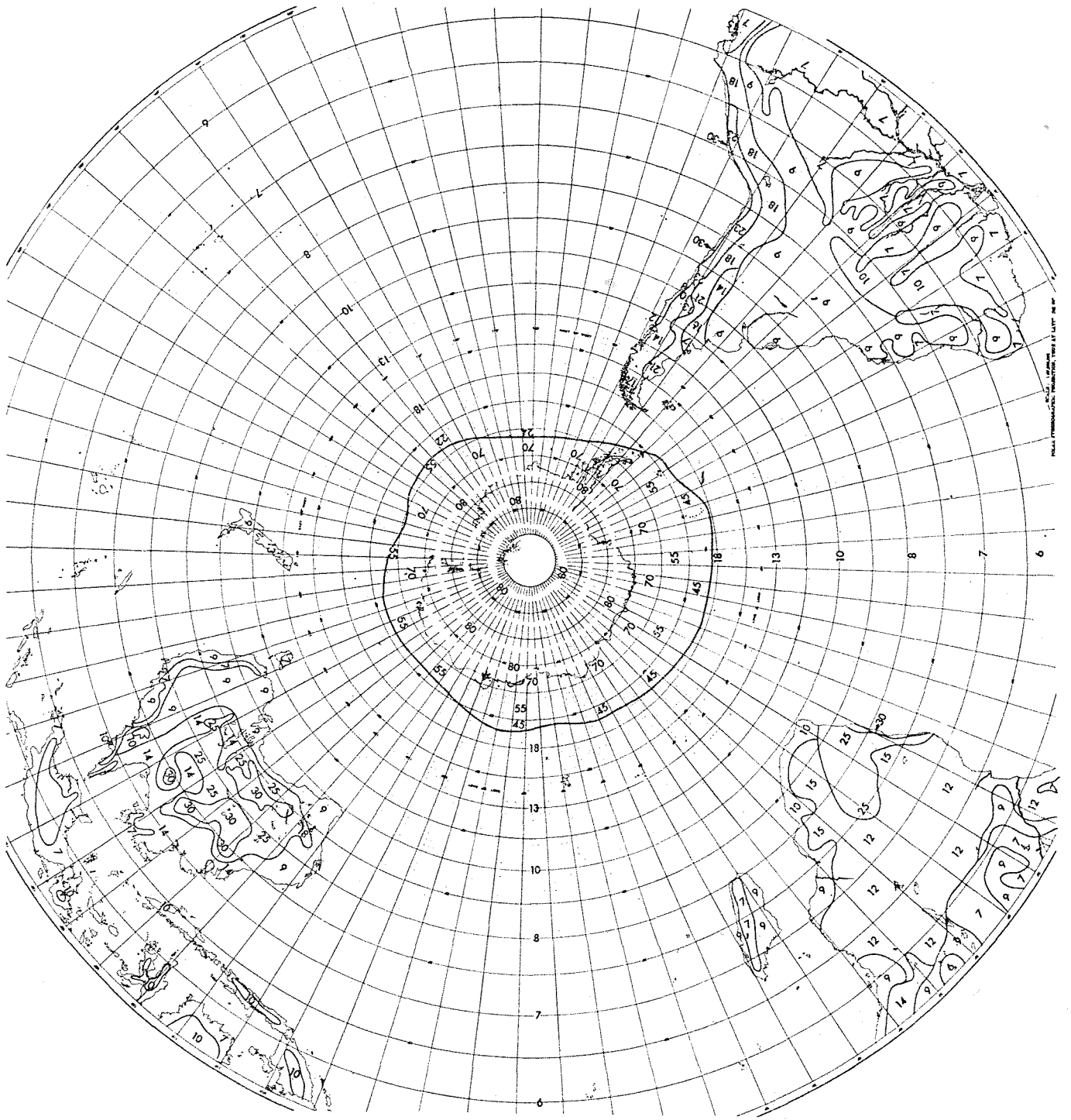


Fig. 8. Albedo normal de superficie, Julio, Hemisferio Sur (ver Fig. 6 para texto).

Fig. 8. Normal surface albedo, July, Southern Hemisphere (See Fig. 6 for legend).

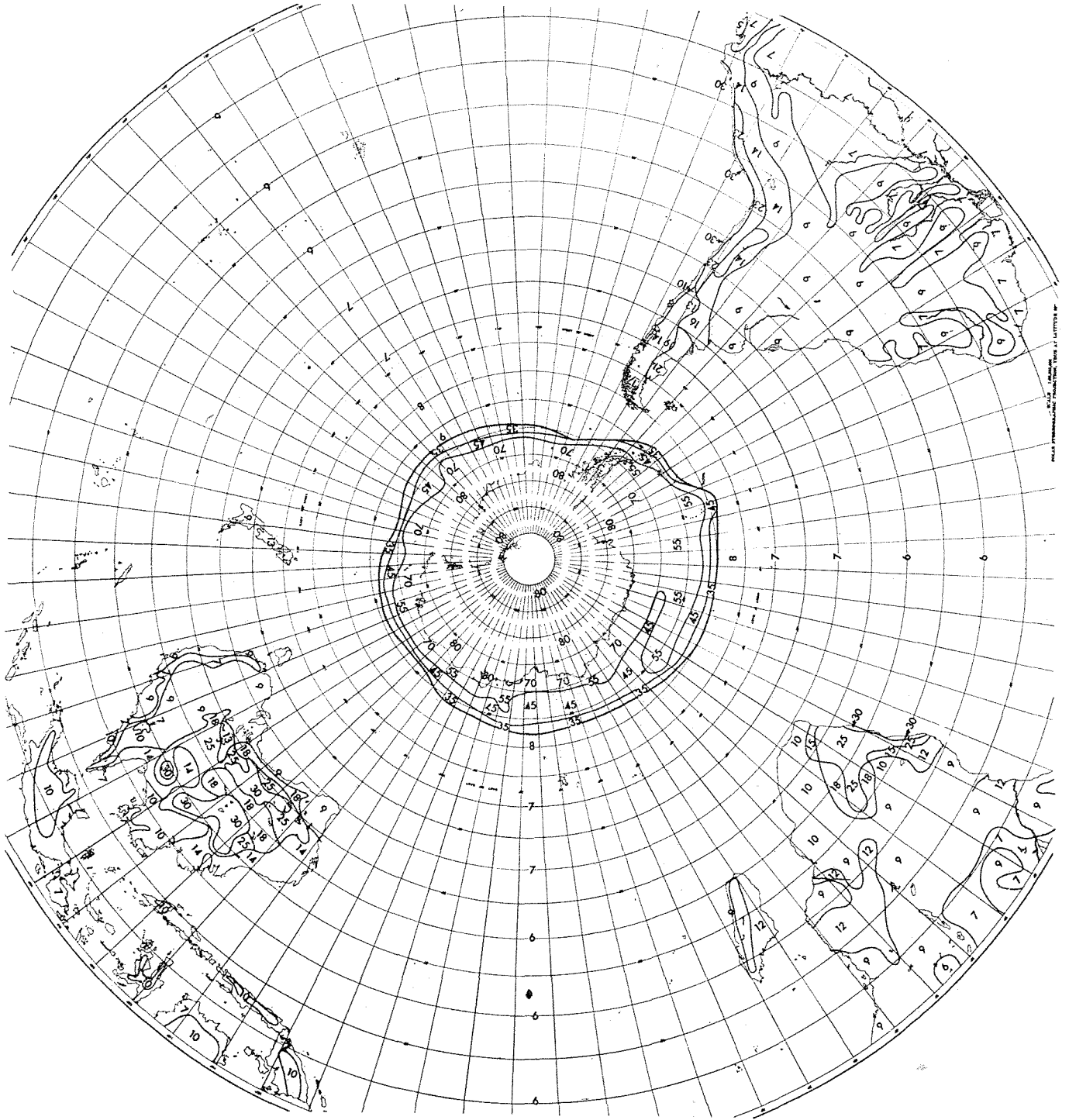


Fig. 9. Albedo normal de superficie, Octubre, Hemisferio Sur (ver Fig. 6 para texto).

Fig. 9. Normal surface albedo, October, Southern Hemisphere (See Fig. 6 for legend).

facilitar lecturas rápidas de las cantidades mapeadas en una red de puntos de cuadrícula.

Se dará un ejemplo único de la determinación de albedo medio en el segmento entre 45° N y 50° N y 90° W y 95° W en Enero. Este segmento se localiza en una región cuyo uso de tierra es del tipo I (maderas, pastos y cultivos; ver Fig. 1), pero de acuerdo con la Tabla II contiene 40% de bosques (generalmente caducos). Además, la Fig. 2 muestra que este segmento está cubierto por nieve en Enero. Para bosques caducos con nieve, cuyo albedo es 30 (Tabla I, parte 6) y para campos y praderas cubiertas de nieve al sur de 50° N, el albedo es 55 (Tabla I, parte 4C). El albedo medio final de 45 para las regiones cubiertas de nieve se obtiene así por el obvio procedimiento de ponderación siguiente.

$$55 \times 0.60 + 30 \times 0.40 = 45$$

Así fue como se incluyó este valor en la carta y se repitió el procedimiento hasta cubrir todo el hemisferio. Procedimientos análogos se siguieron para otros meses. Sin embargo, debe notarse que se ahorró mucho tiempo al construir las otras cartas, porque excepto en los volúmenes de agua abiertos (donde las asignaciones de albedo se obtienen rápidamente de la Tabla 6 de Budyko) y sobre regiones donde hay modificación estacional en la nieve o hielo de la cubierta, suponemos que no hay mayor cambio de albedo a lo largo del año (Tabla I).

Cartas correspondientes para los meses de cada cuarto de año en el Hemisferio Sur se muestran en las Figs. 6 a 9, las cuales se construyeron de manera análoga, por lo cual no se discuten en detalle. Se usaron las mismas fuentes para obtener un mapa de uso de la tierra (Bartholomew, 1922) y tablas de promedios de porcentajes de cubiertas boscosas latitudinales (Kung y Lettau, 1961). La Tabla I de nuestro estudio también fue usada para obtener el albedo de superficies naturales.

Otra publicación (U. S. Navy Hydrographic Office, 1957) se usó para el hielo de los océanos antárticos, obteniéndose información algo diferente respecto al hielo de la publicada para aguas árticas. Durante la estación fría sólo se indica el límite norte de la banquisa sin mencionarse el porcentaje de cubierta de hielo. Por ello usamos valores arbitrarios de cubierta de hielo basados en información de aguas árticas. Durante la estación cálida, por otra parte, la información sobre la cubierta de hielo era mucho más detallada que en el Artico.

Suponemos que el continente antártico y plataformas permanentes de hielo siempre están cubiertas por nieve estable.

No realizamos un estudio separado del porcentaje de cubierta boscosas en los diferentes tipos de uso de la tierra, como se hizo para el Hemisferio Norte. Más bien usamos una estimación aproximada para cada tipo de uso de tierra con base en la Tabla II, tomando en cuenta la relativa angostura longitudinal de los continentes del Hemisferio Sur, junto con el promedio de porcentajes de cubiertas boscosas de Kung y Lettau en bandas de latitud, para llegar a estimaciones razonablemente precisas.

values, as well as to facilitate rapid reading of the mapped quantities at a network of gridpoints.

A single example will be given of the determination of mean albedo in the segment between 45° N and 50° N and 90° W and 95° W in January. This segment lies within a region of land-use type I (woodland, grass and cultivation; see Fig. 1) but according to Table II it contains 40% forest (largely deciduous). Furthermore Fig. 2 shows that this segment is snow covered in January. For deciduous forest with snow the albedo is 30 (Table I, item 6) and for snow-covered fields and grasslands south of 50° N the albedo is 55 (Table I, item 4C). The final mean albedo of 45 for the snow covered region is then obtained by the following obvious weighting procedure:

This value was then entered on the blank chart, and the procedure repeated until the entire hemisphere was covered. Analogous procedures were followed for the other months. However, it should be noted that much time was saved in constructing the other charts, because except over open water bodies (where assignment of albedo is quickly obtained from Budyko's Table 6) and over regions where a seasonal modification in snow or ice cover occurs, we assumed that there is no major change in albedo throughout the year (Table I).

Corresponding charts for the months of each quarter of the year for the Southern Hemisphere are shown in Figs. 6 to 9. These were constructed in an analogous fashion, so that a detailed discussion will not be given. The same sources were used to obtain a map of land use (Bartholomew, 1922) and tables of latitudinal average percentages of forest cover (Kung and Lettau, 1961). Table I of our study was also used to give the albedo of natural surfaces.

Another publication (U. S. Navy Hydrographic Office, 1957) was used for ice in antarctic oceans. This gives somewhat different information regarding ice than that published for arctic waters. During the cold season, only the northern boundary of pack ice is given, with no indication of the percentage of ice cover. Therefore we had to assume arbitrary values of ice cover based on information in arctic waters. During the warm season, on the other hand, information on ice cover was much more detailed than that in the Arctic.

We assumed that the antarctic continent and permanent ice shelves are always covered with stable snow.

We did not undertake a separate study of the percentage of forest cover in different land-use types, as was done for the Northern Hemisphere. Rather, we used a rough estimate for each land-use type, based on Table II, relying on the relative longitudinal narrowness of Southern Hemisphere continents, together with Kung and Lettau's average percentages of forest cover for latitude bands, to give reasonably accurate estimates.

Tal vez la diferencia más importante en procedimiento fue el uso de diferentes albedos para praderas y sabanas secas y húmedas de bajas latitudes (es decir, tipos 3 y 4 de la Fig. 1). Supusimos que si la precipitación mensual normal era menor de 1/2 pulgada, el albedo en tierras abiertas era 25, es decir, como de sabanas secas con mayores cantidades de lluvia (Budyko, 1958, Tabla 5, pág. 37). Se usó el valor 18 de Budyko para sabanas húmedas.

CONCLUSIONES

Las cartas de las Figs. 2 a 9 sólo corresponden a cuatro meses en cada cuarto de año. Sin embargo, las cartas intermedias se han construido y se guardan como mapas manuscritos.

Para concluir se dirá algo acerca de posibles mejoras de estas cartas de albedo.

Se necesita mucho mayor trabajo para mejorar la estimación del albedo característico en diversas superficies terrestres. Se han hecho y están haciéndose mediciones con uso de aeroplanos, como en el estudio de Wisconsin (Bauer y Dutton, 1960). Las medidas en aeroplano tienen la ventaja de proporcionar mejores estimaciones de valores de albedo especialmente integrados, necesarios en estudios de circulación general.

Después de terminar las cartas de albedo hemos conocido recientes traducciones de estudios de científicos soviéticos sobre estaciones en hielos flotantes (v. gr. Chernigouskii, 1962) que indican algún desacuerdo con nuestros valores para el Océano Ártico. Es claro que si hubiéramos tenido más tiempo o realizado más esfuerzo del factible para revisar la literatura, habríamos logrado mejores determinaciones de la distribución global del uso de la tierra que lo ilustrado en la Fig. 1 y Tabla II.

La mala estimación de cubiertas de nieve en áreas de altas montañas lleva a apreciaciones de albedo probablemente muy bajas, especialmente en Invierno, en las Montañas Rocosas, Himalayas y Andes y en la Meseta Tibetana. Las fotografías de satélites (Cronin, 1963) muestran que estas áreas presentan un problema especialmente difícil, pues altos picos y mesetas cubiertos por nieve están cortados o cruzados por barrancas profundas y oscuras y valles revestidos por densas masas de coníferas. En tales áreas se requiere un esfuerzo especial para conocer promedios de albedo a la gran escala que podemos emplear (es decir, áreas del orden de 50,000 millas cuadradas).

Tal vez el mayor adelanto en el albedo de superficie global vendrá con el uso de las fotografías y medidas de radiación de onda corta de satélites meteorológicos. De hecho, ya se dio un paso en tal dirección por Cronin (1963). Realmente los satélites miden el albedo *planetario* y por ello sus datos incluyen luz difundida por aire y nubes así como por la superficie de la Tierra. Además, estas medidas son afectadas adversamente si se toman con grandes ángulos de nadir. Pero, Cronin demostró que en ciertas condiciones de cielos claros y pequeños ángulos de nadir las fotografías de satélites muestran contrastes muy buenos en la luz difundida

Perhaps the most important difference in procedure was the use of different albedoes for wet and dry grasslands and savannas of low latitude (i. e. types 3 and 4 of Fig. 1). It was assumed that if normal monthly rainfall is less than 1/2 inch, the albedo of open lands is 25, e. i. that of dry savannas (Budyko, 1958, Table 5, p. 37); with greater amounts of rain, Budyko's value of 18 for wet savannas was used.

CONCLUSIONS

The charts in Figs. 2 to 9 are for only the four months in each quarter of the year. However, the intermediate charts have been constructed, and are available as manuscript maps.

In conclusion, some remarks will be made about possible improvements in these albedo charts.

Considerably more work is needed to improve estimates of the characteristic albedo of different land surfaces. Careful measurements have been and are still being carried out with the use of airplanes, as in the Wisconsin study (Bauer and Dutton, 1960). Airplane measurements have the advantage that they can provide better estimates of the spacially integrated albedo values needed in general circulation studies.

Since completing these albedo charts, we have noted some recent translations of studies by Soviet scientists made on floating ice stations (e. g. Chernigouskii, 1962) which show some disagreement with our values over the Arctic Ocean. It is clear that considerably more time and effort than we had available to spend in searching the literature would yield a far better determination of the global distribution of land use than that illustrated in Fig. 1 and Table II.

The poor estimates of snow cover in high mountain areas leads to estimates of albedo which are probably too low, especially in Winter in the Rocky, Himalaya and Andes Mountains and in the Tibetan Plateau. Satellite photographs (Cronin, 1963) show that these areas present an especially difficult problem, because lofty peaks and plateaus covered by snow are slashed and criss-crossed with deep, dark ravines and valleys covered with dense stands of conifers. In such areas a special effort will clearly be required to portray average albedo on the large scale which we are capable of resolving (i. e. areas of the order of 50,000 square miles).

Perhaps the greatest improvement in global surface albedo will come from the use of photographs and short-wave radiation measurements from meteorological satellites. In fact, a first step in this direction has been made by Cronin (1963). The satellites actually measure the *planetary* albedo, and therefore their data include scattered light from air and clouds, as well as that from the Earth's surface. Furthermore, these measurements are adversely affected if taken at large nadir angles. Nevertheless, Cronin has demonstrated that under certain conditions of clear skies and small nadir angles, satellite photographs show very good contrast in the

hacia arriba desde diversas superficies. Bajo mejores condiciones pueden medirse a lo menos albedos *relativos* con alguna precisión por procedimientos fotométricos. Al calibrarse con mediciones escogidas cerca de la superficie, tales determinaciones indudablemente darán mapas globales de albedo muy mejorados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores dan las gracias a sus colegas, particularmente al Dr. Julián Adem y Robert R. Dickson, por muchas discusiones útiles. También agradecemos al señor William Lockhart y a la señora Marion E. Hess su ayuda para preparar el manuscrito.

light scattered upward from different surfaces. Under the best conditions, at least *relative* surface albedoes could be measured with some precision by photometric methods. Such determinations, when calibrated with selected measurements near the ground, will undoubtedly provide greatly improved global maps of albedo.

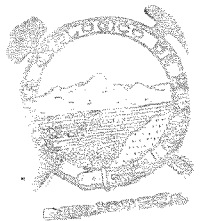
ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank their colleagues, particularly Dr. Julian Adem and Robert R. Dickson, for many helpful discussions. We also wish to thank, Mr. William Lockhart and Mrs. Marion E. Hess for help in preparing the manuscript.

BIBLIOGRAFIA

- ADEM, J. 1964. On the Normal Thermal State of the Troposphere-Ocean-Continent System in the Northern Hemisphere. *Geofis. Intern.*, 4(1):1-32, 21 figs.
- BARTHOLOMEW, J. G. (Editor). 1922. *World Vegetation and Ocean Currents The Times Atlas and Gazetteer of the World* (The Times Printing House Square, London), 258 pp., 112 láms.-pls.
- BAYER, H. (Editor). 1953. *World Geographic Atlas*, pp. 32-33. (Impreso privado de la Container Corporation of America, Chicago, Ill.), (Privately printed for the Container Corporation of America, Chicago, Ill.), 368 pp.
- BAUER, K. G. & J. A. DUTTON. 1960. Flight Investigations of Surface Albedo. Technical Report No. 2, U. S. Army Contract DA-36-039-SC (Department of Meteorology, University of Wisconsin, Sept.).
- BUDYKO, M. I. 1958. *Teplovoî balans zemnoî poverkhnosti. (The Heat Balance of the Earth's Surface)*. Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, Leningrad, 1956 (Translated by Nina A. Stepanova, Office of Climatology, U. S. Weather Bureau, Washington, D. C., 259 pp.).
- CARDIS, H. T. & W. H. HOGG. 1948. Frequency of Snow Cover in Sweden and Finland and its Relation to the Temperature. *Quart. Jour. Royal Meteor. Soc.*, 74(319): 83-98.
- CENTRAL METEOROLOGICAL BUREAU OF CHINA, OFFICE OF CLIMATOLOGY DATA RESEARCH. 1960. *An Atlas of Chinese Climatology*. Peiping Map Publishing Co. (English translation by Joint Publishing Research Inc., J.R.R.S. 16, 321, Washington, D. C. 293 pp.).
- CHEKNIGOUSKII, N. T. 1962. The Albedo of Land and Sea Surface in the Arctic. *Academy of Sciences of Lithuanian S. S. R. (Nauchnye Soobsheniia)*, 13:181-188.
- CRESSEY, G. B. 1934. *China's Geographic Foundations*. New York. (Mc-Graw-Hill Book Co.), 435 pp.
- GRONIN, J. F. 1963. Terrestrial Features of the United States as viewed by TIROS. Scientific Report No. 2, AF19(628)-2471, (Arason Geophysics Co., Concord Massachusetts, July).
- FAWCETT, E. B. 1962. Six Years of Operational Numerical Weather Prediction. *Jour. Appl. Meteor.*, 1(3):318-332.
- GREGORY, J. S. & D. W. SHAVE. 1948. *The U.S.R.R. A geographical survey*. New York (John Wiley and Sons, Inc.), 636 pp.
- JONES, W. D. & D. S. WHITTLESEY. 1925. *An Introduction to Economic Geography*. Chicago, Ill. (The University of Chicago Press), 375 pp.
- KAROL, B. P. 1948. *Snezhnyi Pokrov. (Snow cover)* Gidrometeoizdot, Leningrad, 72 pp. (No traducido) (Untranslated).
- KUNG, E. C. & H. H. LETTAU. 1961. Regional and Meridional Distributions of Continental Cover and Aerodynamic Roughness Parameters. Annual Report, Studies

BIBLIOGRAPHY



of the Three-Dimensional Structure of the Planetary Boundary Layer. U. S. Army Contract DA-36-039-SC-80282, (Department of Meteorology, University of Wisconsin, August).

- LARSSON, P. & S. ORVIG. 1961. Atlas of Mean Monthly Albedo of Arctic Surfaces. Scientific Report No. 2, AF 19(604)-7415, (McGill University, Montreal).
- 1962. Albedo of Arctic Surfaces, Scientific Report No .6, AF19(604-7415 (McGill University, Montreal).
- LIST, R. J. (Editor). 1951. *Smithsonian Meteorological Tables* (6th Revised Edition), Washington, D. C., 527 pp.
- MILLER, D. H. 1956. The Influence of Snow Cover on Local Climate in Greenland. *Jour Meteor.*, 13(1):112-120.
- NATIONAL RESOURCES BOARD. 1934. *A Report on National Planning and Public Works in Relation to Natural Resources, and including Land Use and Water Resources, with Findings and Recommendations.* Washington, D. C. (U. S. Government Printing Office), 455 pp.
- U. S. NAVY HYDROGRAPHIC OFFICE. 1955. *Ice Atlas of the Northern Hemisphere*, Washington, D. C., 106 pp.
- 1957. *Oceanographic Atlas of Polar Seas, Part I, Antarctic*, Washington, D. C. 70 pp.
- U. S. WEATHER BUREAU. 1962. *Climatological Data for Arctic Stations, July 1957 - December 1958*, No. 1:49-63.
- WHITE, C. L. & E. J. FOSCUE. 1943. *Regional Geography of Anglo-America*, New York (Prentice-Hall, Inc.), 898 pp.

