

150 localities were recognised by the 1961 census⁵¹). The leading settlement in each of these is the only one shown in the recently published administrative atlas⁵²). Future work must take such discrepancies into account, particularly when analyses of settlement patterns, or even population densities, are attempted.

Finally, as Figure 2 shows, settlement study has not covered the whole country. There are considerable gaps

⁵¹) OFFICE NATIONAL DE STATISTIQUE, *Population de la Grèce au Recensement du 19 mars 1961* (Athens 1962), 121 and 125.

⁵²) NATIONAL STATISTICAL SERVICE OF GREECE, *Atlas of Greece, 1: 200,000* (Athens 1965).

and these need to be filled, especially before any new classification is advanced. It would also be generally helpful if the classes described by BEUERMANN could be mapped. Moreover, some of the studies reviewed were made many years ago. The ground needs to be reworked, if only to discover the detailed changes that have taken place in the interim.

The plea, then, is for more studies and greater depth of analysis. Attention should be given not only to synthesised and ordered description, which remains basic, but also to process. It is important to discover the forces which shaped settlement form, decided site choice, developed regional patterns and brought about change.

DIE KLIMAKLASSIFIKATION VON BUDYKO UND GRIGOR'EV

Mit 5 Abbildungen und 3 Tabellen

ERNST GIESE

Summary: The classification of climate of BUDYKO and GRIGOR'EV

As in the USA there has developed in the USSR in recent times, too, a theoretical physical climatology. This development has been promoted particularly by the research of BUDYKO and GRIGOR'EV on the heat and moisture balance of the earth's surface. Based on this research BUDYKO and GRIGOR'EV have developed a classification of climate, which is remarkable for its exact physically based of delimitation and the use of a new and complex delimitation parameter, the so called radiation index of dryness. According to this classification BUDYKO and GRIGOR'EV have defined the climates of the USSR and constructed a map of the climatic regionalization of the USSR.

Etwa seit Ende der 40er Jahre hat sich in der Sowjetunion (USSR) eine Klimatologie entwickelt, die sich um eine physikalisch vertiefte Betrachtung des Wärme- und Wasserhaushaltes bemüht. Sie versucht dies in zunehmendem Maße durch theoretische Ableitung physikalisch begründbarer, gesetzmäßiger Zusammenhänge thermischer und hydrologischer Parameter, um dann über indirekte Meßmethoden auf die Eigenschaft des Klimas eines Gebietes schließen zu können. FLOHN (1958) sieht in dieser sich auch in den USA abzeichnenden Entwicklung eine neue und grundlegende Stufe der Klimatologie, die er als theoretische Klimatologie bezeichnet.

Wesentlich zu dieser Entwicklung in der USSR haben vor allem die Untersuchungen BUDYKOS über den Wärme- und Wasserhaushalt der Erdoberfläche beigetragen. Auf ihrer Grundlage haben BUDYKO und GRIGOR'EV eine Klimaklassifikation entwickelt, die sich durch Anwendung neuartiger Abgrenzungsparameter und exakter physikalisch begründeter Abgrenzungsmethoden auszeichnet.

Bereits 1948 hat BUDYKO die Grundsätze zu dieser

Klimaklassifikation vorgelegt. Endgültig wurde sie jedoch erst in einer Gemeinschaftsarbeit mit GRIGOR'EV über die Klassifikation der Klimate der USSR (1959) veröffentlicht¹). Mit ihr wurde zugleich eine Karte der klimatischen Bereichsgliederung der USSR vorgelegt, die für den bisher noch nicht erschienenen Klima atlas der Sowjetunion bestimmt war, später dann, von kleinen drucktechnischen Fehlern bereinigt, aber sonst unverändert, in den physisch-geographischen Weltatlas (1964, S. 203) aufgenommen wurde²). An der Erstellung dieser

¹) A. A. GRIGOR'EV, M. I. BUDYKO: Klassifikacija klimatov SSSR. In: *Izv. AN SSSR, ser. geogr.*, Nr. 3, 1959.

Eine englische Übersetzung dieses Aufsatzes findet man in: *Soviet Geography, Review and Translation*, Vol. I, 1960, Nr. 5, S. 3-24.

Leider hat man es auch hier wie im Originaltext unterlassen, den Leser über die Herleitung der verwendeten Formeln sowie über die verschiedenen Meß- und Berechnungsmethoden der angegebenen Konstanten und Variablen zu informieren, so daß ein Verständnis und eine Beurteilung der Klimaklassifikation ohne die Kenntnis vorausgehender Arbeiten BUDYKOS nicht möglich ist. Ebenso muß angemerkt werden, daß in den Arbeiten BUDYKOS im allgemeinen übliche Dimensionsangaben nur in spärlichem Umfang zu finden sind. An dieser Stelle möchte ich Herrn JULIUS WERNER vom geophysikalischen Institut in Münster, der mir bei der Herleitung einiger Formeln und Bestimmung der Dimensionsangaben behilflich war, herzlich danken.

²) Die auf S. 270/271 des russ. Atlases vorliegende Kommentierung der Karte der klimatischen Bereichsgliederung der USSR ist gleichfalls wie der gesamte Text des Atlases ins Englische übersetzt worden (siehe *Soviet Geography, Review and Translation*, Vol. VI, 1965, Nr. 5/6, S. 223, Übersetzung der Zeichenerklärung, S. 317 bis 320, Übersetzung des Kommentars).

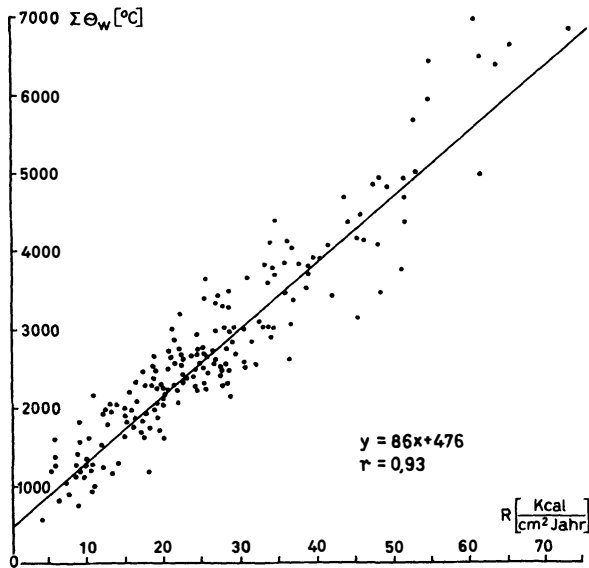


Abb. 1: Beziehung zwischen der Strahlungsbilanz R und der Summe der Bodenoberflächentemperatur $\Sigma \Theta_w$ für Perioden mit Lufttemperaturen über 10°C . Die Summe der Bodenoberflächentemperatur $\Sigma \Theta_w$ wird durch Addition der Tagesmitteltemperatur der Tage mit Lufttemperaturen $> 10^\circ\text{C}$ bestimmt.

Karte waren neben den beiden Autoren vor allem durch vorbereitende Spezialuntersuchungen die Mitarbeiter des nach A. I. VOEJKOV benannten Hauptobservatoriums in Leningrad, L. I. ZUBENOK, N. A. EFIMOVA und V. V. MUCHENBERG (1958), beteiligt.

In Untersuchungen zum Wärme- und Feuchtehaushalt der Erdoberfläche hatte BUDYKO im Hinblick auf die 1959 vorgelegte Klimaklassifikation zwei wichtige Ergebnisse gewonnen und zusammen mit GRIGOR'EV ein drittes erarbeitet.

1. Als erstes Resultat ergab sich eine *Proportionalität der jährlichen Strahlungsbilanz R der Erdoberfläche (gemessen in kcal/cm^2) zur Summe der Bodenoberflächentemperatur $\Sigma \Theta_w$ für Perioden mit Lufttemperaturen über 10°C* ³⁾ (vgl. Abb. 1). Die Einschränkung der Bodenoberflächentemperaturen auf den Zeitraum mit Lufttemperaturen über 10°C wurde vorgenommen, da dieser Zeitraum annähernd der Vegetationsperiode entspricht. BUDYKO und GRIGOR'EV suchten den Bezug zur Vegetationsperiode und damit in gewisser Weise zu den natürlichen Vegetationsformationen, da sie in der natürlichen Pflanzenwelt den exaktesten Anzeiger für eine physiogeographische Bereichsgliederung sahen. Daß nun nicht nur wie zu erwarten eine Proportionalität der Summe der Bodenoberflächentemperatur während der Vegetationsperiode zur Strahlungsbilanz derselben Periode besteht, sondern auch zur jährlichen Strahlungsbilanz, liegt darin begründet, daß die Strahlungsbilanz während der Vegetationsperiode nur gering

³⁾ Zum leichteren Verständnis der Originalliteratur verwende ich die in den russ. Arbeiten auftretenden Symbole.

von der jährlichen Strahlungsbilanz abweicht (BUDYKO 1955b, Abb. 4; 1956, Abb. 56).

BUDYKO hat obige Proportionalität durch graphische Darstellung der entsprechenden Wertepaare von 248 Stationen, die über alle klimatischen Gebiete der USSR verteilt liegen, ermittelt. Exakt läßt sich die Proportionalität von R und $\Sigma \Theta_w$ durch Bestimmung der Regressionsgeraden und des Korrelationskoeffizienten nachweisen. Mit Hilfe der von BUDYKO in einer graphischen Darstellung angegebenen Wertepaare (Angaben von 184 Stationen) konnte ich die Regressionsgerade $y = 86x + 476$ und den Korrelationskoeffizienten $r = 0,93$ bestimmen.

2. Als zweites wichtiges Resultat vorausgehender Arbeiten (1951b, 1955), in denen BUDYKO die Beziehungen der Strahlungsbilanz R zur pot. Verdunstung E_0 untersuchte, ergab sich eine *Proportionalität der Strahlungsbilanz zur pot. Verdunstung und bei Division der Strahlungsbilanz R durch die latente Verdampfungswärme L eine Übereinstimmung der Werte von E_0 und R/L* (Abb. 2). Die von mir in gleicher Weise wie zu Abb. 1 durchgeführte Korrelationsrechnung zeigt, daß die Proportionalität von E_0 und R/L nicht so stark ist wie zwischen R und $\Sigma \Theta_w$ (Korrelationskoeffizient $r = 0,84$). Außerdem deutet das Abweichen der Regressionsgeraden von der Winkelhalbierenden an, daß die Übereinstimmung von E_0 und R/L nur annähernd besteht. Diese Zusatzbemerkungen sind insofern wichtig, als damit ein Hinweis auf eine mögliche Fehlerquelle späterer Indexbildungen und weiterer Berechnungen, die diese Übereinstimmung voraussetzt, gegeben wird.

Zur Berechnung der pot. Verdunstung benutzt BUDYKO eine komplexe Methode, der die Lösung der Wärmehaushaltsgleichung für das Festland zugrunde liegt (BUDYKO 1956, S. 166-177; siehe auch frühere Arbeiten von BUDYKO, z. B. 1955b, S. 3 ff.) (vgl. die ähnlichen Berechnungsverfahren von ALBRECHT 1937, 1943, 1947 und PENMAN 1948). Die Gleichung

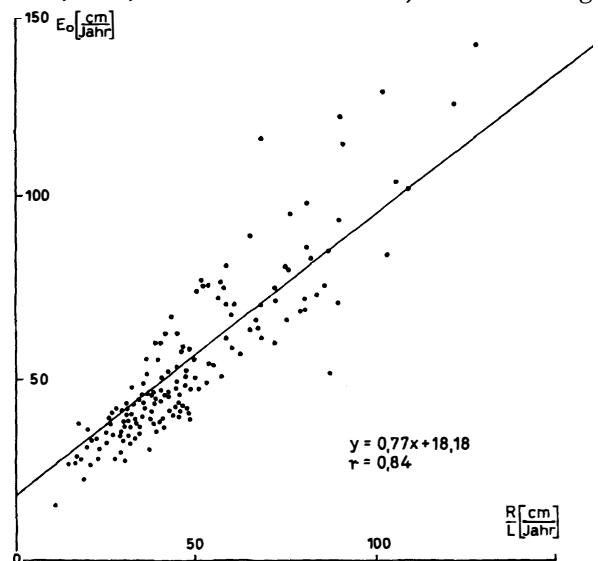


Abb. 2: Beziehung zw. dem Quotienten aus Strahlungsbilanz u. latenter Verdampfungswärme R/L u. der pot. Verdunstung E_0 .

hat unter der Voraussetzung eines hinreichend befeuchteten Bodens folgendes Aussehen:

$$(1) \quad R = L \cdot E_0 + P + B$$

Hierbei ist R die Strahlungsbilanz [kcal cm⁻² Monat⁻¹], die durch die Gleichung

$$(2) \quad R = R_0 - 4 \sigma \Theta^3 (\Theta_w - \Theta)$$

bestimmt wird (R_0 ist die nach der Lufttemperatur Θ [°K] in 2 m Höhe berechnete Strahlungsbilanz; σ ist das Emissionsvermögen des Bodens für die Ausstrahlung nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz, bezogen auf den schwarzen Körper, von BUDYKO im Mittel zu 0,9 angenommen; σ ist die Stefan-Boltzmann-Konstante = $8,26 \cdot 10^{-11}$ [cal cm⁻² Minute⁻¹ °K⁴], die auf kcal Monat⁻¹ umgerechnet mit $3,58 \cdot 10^{-9}$ [kcal cm⁻² Monat⁻¹ °K⁻⁴] einzusetzen ist; Θ_w = wahre Temperatur der verdunstenden Bodenoberfläche [°K]). Ferner bedeutet L die Verdampfungswärme des Wassers (im Mittel 0,59 [kcal g⁻¹]) und E_0 die pot. Verdunstung [cm Monat⁻¹]. Das angenommene Transportmodell für den Wasserdampfübergang wird beschrieben durch die Formel

$$(3) \quad E_0 = \rho D (q_s - q)$$

ρ = mittlere Dichte der Luft $\approx 1,2 \cdot 10^{-3}$ [g cm⁻³]; D ist ein integraler Koeffizient der Diffusionsgeschwindigkeit [cm sec⁻¹]; q_s ist die maximale spezifische Feuchte am Boden (Θ_w entsprechend) und q die spezifische Feuchte [g Wasserdampf/g feuchte Luft] in Höhe der üblichen meteorologischen Messungen (2 m).

SERJAKOVA (1957) benutzt die Gleichung (3), indem die spezifische Feuchte mit $q \approx \frac{0,623 e}{p}$ durch den gebräuchlichen Dampfdruck e [mm Hg] ausgedrückt wird. Mit dem von BUDYKO auf Grund seiner Untersuchungen vor allem im europäischen Teil der USSR angegebenen Mittelwert von $D = 0,63$ cm sec⁻¹ für die warme Jahreszeit (= $1,63 \cdot 10^6$ cm Monat⁻¹) und $p = 740$ mm Hg als mittleren Luftdruck findet SERJAKOVA die Gleichung:

$$(4) \quad E_0 = 1,67 (e_s - e) \text{ [cm Monat}^{-1}\text{]}$$

In der kalten Jahreszeit verringert sich der Wert des Diffusionskoeffizienten D infolge verminderter Einstrahlung, so daß sich

$$(5) \quad E_0 = 1,06 (e_s - e) \text{ [cm Monat}^{-1}\text{]}$$

als Bestimmungsgleichung ergibt. Außerdem ist in der Jahreszeit mit vorwiegend negativer Strahlungsbilanz ($\Theta_w - \Theta$) nur wenig von 0 verschieden, so daß bei $\Theta_w \approx \Theta$ der Ausdruck $(e_s - e)$ mit hinreichender Genauigkeit durch $((e_s) - (e))$, d. h. durch das Sättigungsdefizit α ersetzt werden kann:

$$(6) \quad E_0 = 1,06 \alpha$$

In BUDYKOS Wärmehaushaltsgleichung ist B der Wärmetransport im Boden und P der turbulente Austausch fühlbarer Wärme, der durch die Formel

$$(7) \quad P = \rho \cdot c_p \cdot D (\Theta_w - \Theta)$$

beschrieben wird. Dabei ist c_p die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck ($\approx 0,24$ [cal g⁻¹ Grad⁻¹]).

Bei Einsetzen der Ausdrücke für R , E_0 und P in die Gleichung (1) nimmt BUDYKOS Wärmehaushaltsgleichung folgendes Aussehen an:

$$(8) \quad R_0 - B = L \cdot \rho \cdot D (q_s - q) + (4 \sigma \Theta^3 + \rho \cdot c_p \cdot D) (\Theta_w - \Theta)$$

Unter Zugrundelegung oben genannter Vereinfachung ergibt sich nach SERJAKOVA für die warme Jahreshälfte folgende Form der Wärmehaushaltsgleichung:

$$(9) \quad R_0 - B = 1,0 (e_s - e) + 0,8 (\Theta_w - \Theta) \text{ [cm Monat}^{-1}\text{]}$$

Sind in Gleichung (8) alle Größen außer q_s und Θ_w bekannt, dann läßt sich infolge der Abhängigkeit $(q_s)_{\Theta_w}$ bzw. $(e_s)_{\Theta_w}$ (Magnus-Tetens-Formel) die Gleichung nach $(\Theta_w - \Theta)$ auflösen und somit Θ_w berechnen. Damit kann die pot. Verdunstung nach der Gleichung (3) bzw. (4) und (5) ermittelt werden.

Trotz mancher Rechenerleichterungen durch die Benutzung von Nomogrammen ist das Bestimmungsverfahren der pot. Verdunstung mit Hilfe der oben genannten Formeln sehr kompliziert. BUDYKO gibt deshalb zusätzlich drei weitere, in einer Reihe von Fällen verwendbare, einfachere Berechnungsverfahren der pot. Verdunstung an (BUDYKO 1956, S. 168–176).

3. Als drittes wichtiges Resultat vorausgehender Untersuchungen stellten GRIGOR'EV und BUDYKO fest, daß die *physiogeographische Zonierung im wesentlichen abhängig ist von der Verteilung der Strahlungsbilanz R und der Verteilung eines noch näher zu erläuternden „Strahlungs-Trockenheitsindexes“* (radiacionnyj indeks suchosti) $\frac{R}{L \cdot r}$, in dem R die Strahlungsbilanz,

L die latente Verdampfungswärme des Wasserdampfes und r die jährliche Niederschlagsmenge ist. Dieser Index, der das Verhältnis der Strahlungsbilanz R zu der zur Verdunstung der jährlichen Niederschlagsmenge nötigen Energie $L \cdot r$ wiedergibt, ist von BUDYKO entwickelt worden (BUDYKO 1948b, 1950a) und greift die Idee des Feuchteindex von DOKUČAEV-VYSOČKIJ auf. Die Vorstellung, daß zwischen der Größe des Strahlungs-Trockenheitsindex und den Grenzen der Hauptnaturzonen eine bestimmte enge Wechselbeziehung besteht, wurde von GRIGOR'EV (1954) entwickelt. Diese Idee geht letztlich wiederum aus früheren Arbeiten GRIGOR'EVs hervor (z. B. 1946), in denen bereits das Abhängigkeitsverhältnis physiogeographischer Prozesse und physiogeographischer Bereichsgliederung von der Strahlungsbilanz und atmosphärischen Feuchtigkeitsverhältnissen untersucht worden ist.

Auf der Grundlage der zu Anfang dargestellten Beziehungen der Strahlungsbilanz einerseits zur Summe der Bodenoberflächentemperatur und andererseits zur pot. Verdunstung ist es möglich, für die Aufstellung der Klimaklassifikation an Stelle der Strahlungsbilanz und des Strahlungs-Trockenheits-

indexes ihre analogen Größen zu verwenden: das ist einerseits die Summe der Bodenoberflächentemperatur $\sum \Theta_w$, andererseits die Beziehung der pot. Verdunstung zur jährlichen Niederschlagsmenge $\frac{E_0}{r}$.

Den Parameter $\frac{R}{L \cdot r}$ kann man sowohl als das Verhältnis der Verdunstung E_0 zum Niederschlag r betrachten $\left(\frac{R}{L}\right) \left[\frac{R}{L} \approx E_0\right]$ als auch als Beziehung der Strahlungsbilanz R zum Wärmeverlust $L \cdot r$, der bei der Verdunstung der jährlichen Niederschlagsmenge r benötigt wird $\left(\frac{R}{L \cdot r}\right)$. Wird durch den ersten Parameter R bzw. $\sum \Theta_w$ ein Maß der Versorgung der physiogeographischen Oberflächenprozesse mit Energie gegeben, so gibt der zweite Parameter $\frac{R}{L \cdot r}$ ein Maß für die Bedingungen der klimatischen Feuchte- bzw. Trockenheitsverhältnisse an.

Für die Erstellung der Klassifikation der Klimate der USSR wurden für das Territorium der Sowjetunion Karten der oben genannten klimatischen Parameter konstruiert, so eine mit der Summe der Bodenoberflächentemperaturen für Perioden mit Lufttemperaturen über 10°C (N. A. EFIMOVA und L. I. ZUBENOK) und eine weitere mit dem Strahlungstrockenheitsindex (L. I. ZUBENOK). Diese Karten wurden mit geobotanischen Karten der USSR verglichen, da die Pflanzendecke als der beste Indikator für die Einflußnahme gegenwärtiger klimatischer Faktoren angesehen wurde. Am geeignetsten für dieses Unterfangen stellte sich unter den vorhandenen geobotanischen Karten der USSR die Karte der geobotanischen Zonen der USSR von E. M. LAVRENKO und V. B. SOČAVA im Maßstab 1:4 Mill. (1954) heraus⁴⁾.

Der Vergleich ergab eine weitgehende Übereinstimmung zwischen der Lage der Isolinien der klimatischen Parameter und den Grenzen der geobotanischen Provinzen (oblasti). Dies erlaubte, diejenigen Parameter genauer zu fassen, die die Grenzen der physiogeographischen Zonen der USSR bestimmen.

Im einzelnen ergab sich, daß die Bereiche, in denen die mittlere Tagestemperatur stets unter 10°C im Jahr lag, der Zone der arktischen Wüsten entsprechen. Die Isolinie der Summe der Bodenoberflächentemperatur von 1000° stimmte mit der Südgrenze der Tundra (einschließlich der Waldtundra) überein. Der Trockenheitsindex lag für diese Gebiete unter 0,45. Gleichfalls in den Bereich mit einem Trockenheitsindex kleiner 0,45 gehört das Gebiet der alpinen Wiesen. Hier ist allerdings die Temperatursumme größer. Die Isolinie des Trockenheitsindex 1 entspricht der Wald-/Steppengrenze. Innerhalb dieses Bereiches mit Trockenwerten von 0,45 bis 1,00 sind bei Temperatursummen bis zu 2200°

Taigawälder, von 2200 – 4400° Mischwälder der gemäßigten Breiten, über 4400° subtropische Wälder (z. B. breitblättriger Mischwald mit immergrünen Pflanzen der Kolchis) zu beobachten.

Die Steppe und Waldsteppe ist durch einen Trockenheitsindex von 1 bis 3 zu kennzeichnen. In dieser Zone beobachtet man bei Temperatursummen unter 2200° Gebirgssteppen und Waldsteppen; bei Temperatursummen über 4400° werden Steppen der gemäßigten Breiten von Steppen mit Elementen subtropischer Vegetation oder von xerophytischen Wäldern, die subtropische Züge besitzen, abgelöst. Trockenheitswerte über 3 führen in die Wüsten, wobei Gebirgswüsten (z. B. Pamir) Temperatursummen unter 2200° , die in den nördlichen Ebenen gelegenen Wermutgras- und Salzkrautwüsten 2200 – 4400° und die von Saksaul und Ephemerem eingenommenen Wüsten über 4400° aufweisen. Im einzelnen sind die Indexwerte, die zur Abgrenzung der Klimate in der USSR geführt haben, in Tabelle 1 und 2 zusammengestellt.

Die Beziehungen der geobotanischen Formationen zu den beiden Parametern $\sum \Theta_w$ und $\frac{R}{L \cdot r}$ kann man allgemein in Form eines Schemas darstellen (Abb. 3; vgl. dazu Tab. 1 und 2). In Anlehnung an eine von BUDYKO (1956, S. 182) gegebene Darstellung wurden auf der Ordinate die Temperatursummenwerte $\sum \Theta_w$ abgetragen, auf der Abszisse die Werte des Strahlungstrockenheitsindex $\frac{R}{L \cdot r}$. Unter Ausklammerung der Gebirgsbereiche gibt die ausgezogene Linie in diesem Schema die Begrenzung der auf der Erdoberfläche vorfindbaren Temperatursummenwerte $\sum \Theta_w$ für Perioden mit Lufttemperaturen über 10°C wieder. Die gestrichelten ordinatenparallelen Linien geben die Abgrenzungen der geobotanischen Formationen nach dem Trockenheitsindex $\frac{R}{L \cdot r}$ wieder. Ähnliche Beziehungen lassen sich von den beiden Parametern u. a. zu den hydrologischen Gegebenheiten herstellen (BUDYKO 1956, S. 183), da der Quotient $\frac{R}{L \cdot r}$ zugleich auch den Wasserhaushalt der Erdoberfläche kennzeichnet (hierzu siehe BERENYI 1967, S. 299). Durch die Einschränkung der Temperatursummen auf Perioden mit Lufttemperaturen über 10°C kommen im obigen Schema die polaren Kältewüsten der Erde nicht zur Darstellung.

Außer diesen beiden Hauptkriterien, von denen dem Trockenheitsindex der Vorzug gegeben wurde, ist zur detaillierteren Kennzeichnung der klimatischen Gebiete der USSR ein drittes Merkmal in die Klassifikation aufgenommen worden. Zwar hat das klimatologische Regime des Winters im Bereich der USSR relativ wenig Einfluß auf die natürlichen Oberflächenprozesse im Vergleich zur warmen Jahreszeit. Jedoch besitzt die winterliche Trockenheit bzw. der winterliche Niederschlag eine gewisse Bedeutung für das Abflußregime der Flüsse, für die Bodenbildung, für das Pflanzenwachstum, ... Deshalb wurde als drittes untergeordnetes Merkmal noch die Kennzeichnung der winterlichen Periode durch An-

⁴⁾ Eine Vegetationskarte der USSR von V. B. SOČAVA liegt im physisch-geographischen Weltatlas, Moskau 1964, S. 240/241, vor.

Tabelle 1: Feuchtigkeitsverhältnisse

	Strahlungs-Trockenheitsindex	Geobotanische Merkmale
I übermäßig feucht	< 0,45	Arktische Wüste, Tundra, Waldtundra, Alpine Wiesen
II feucht	0,45–1,00	Wald
III unzureichend feucht	1,00–3,00	Waldsteppe, Steppe, Xerophytische subtropische Vegetation
IV trocken	> 3,00	Wüste

Tabelle 2: Thermische Verhältnisse der warmen Jahreszeit

	Summe der Bodenoberflächentemperatur für Perioden mit Lufttemp. über 10° C	Geobotanische Merkmale
1 sehr kalt	Lufttemperatur im ganzen Jahr unter 10° C	Arktische Wüste
2 kalt	< 1000°	Tundra und Waldtundra
3 mäßig warm	1000–2200°	Nadelwald, Alpine Wiesen, Gebirgssteppe und Steppe Sibiriens, Gebirgswüste des Pamirs
4 warm	2200–4400°	Mischwald, Waldsteppe, Steppe, nördliche Wüste
5 sehr warm	> 4400°	Subtropische Vegetation, Wüste

Tabelle 3: Thermische und Schneeverhältnisse des Winters

Winter:		
A	rauh und schneearm	Januar-Temperatur unter –32°, größte dekadische Schneedecke unter 50 cm
B	rauh und schneereich	Januar-Temperatur unter –32°, größte dekadische Schneedecke über 50 cm
C	mäßig rau und schneearm	Januar-Temperatur von –13° bis –32°, größte dekadische Schneedecke unter 50 cm
D	mäßig rau und schneereich	Januar-Temperatur von –13° bis –32°, größte dekadische Schneedecke über 50 cm
E	mäßig mild	Januar-Temperatur von 0° bis –13°
F	mild	Januar-Temperatur über 0°

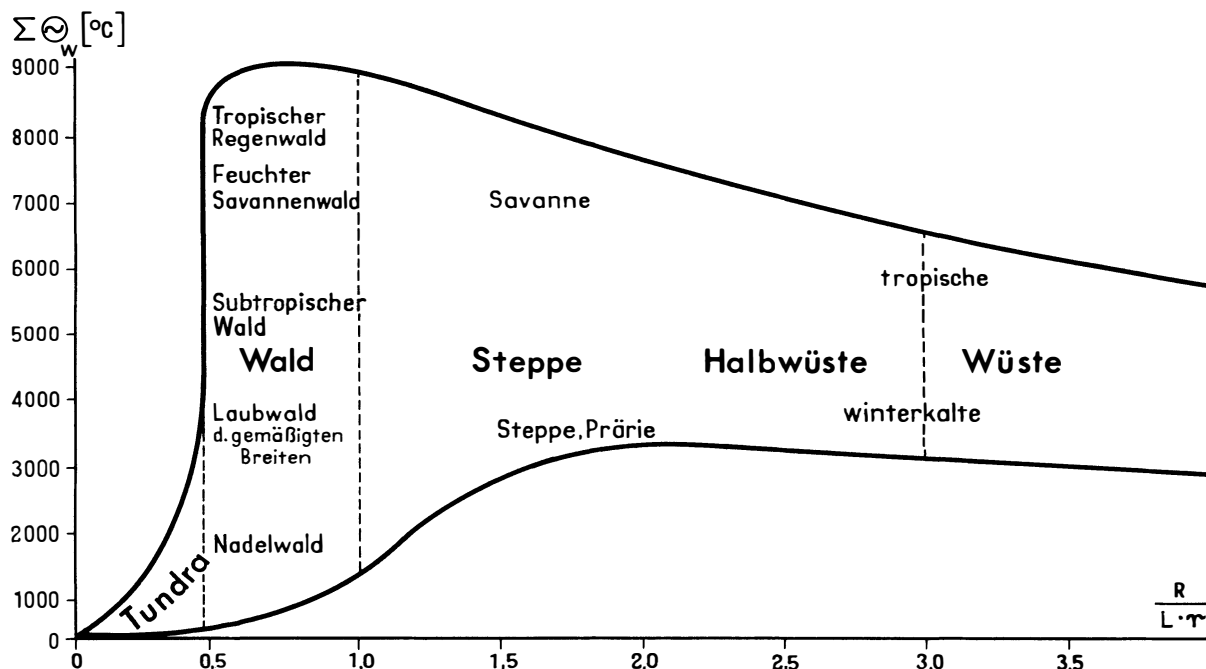


Abb. 3: Geobotanische Formationen als Funktion der Bodenoberflächentemperatur $\Sigma \Theta_w$ und des Strahlungs-Trockenheitsindex $\frac{R}{L \cdot r}$ nach BUDYKO 1956, abgewandelt (Höhenstufung ausgeschlossen)

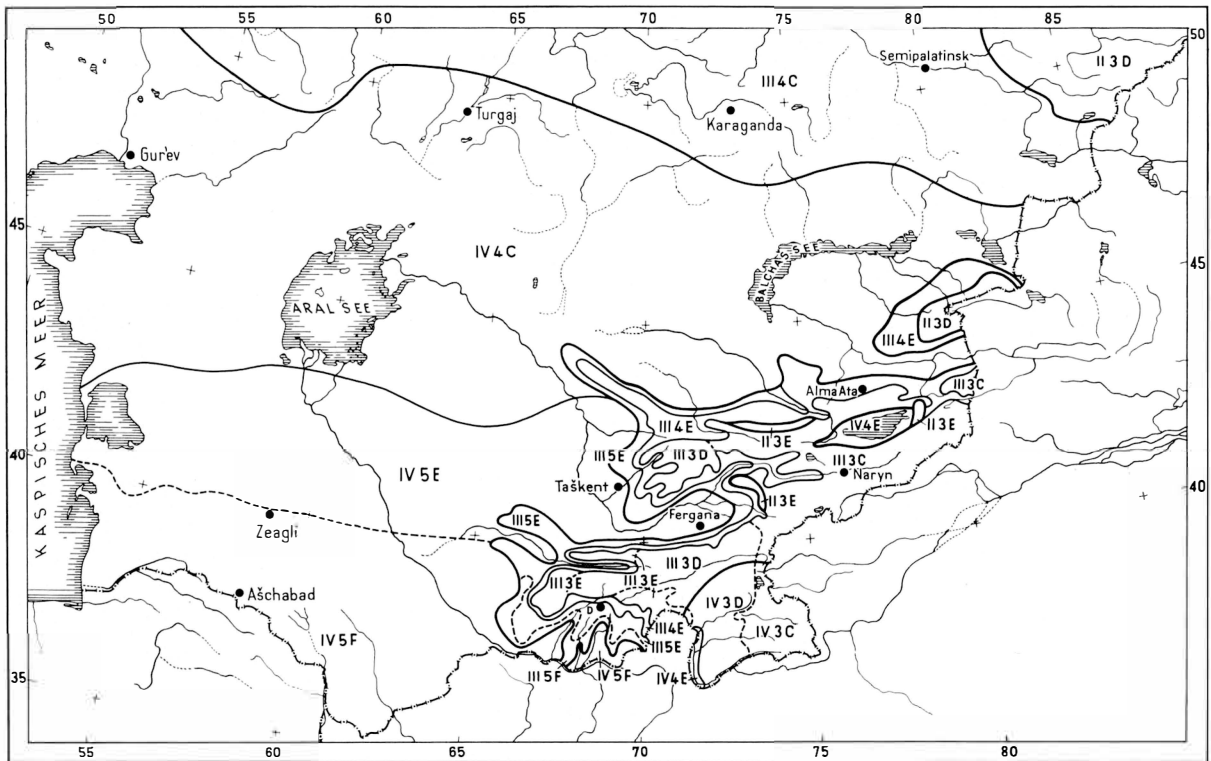


Abb. 4: Klimatische Bereichsgliederung Sowjet-Mittelasiens nach BUDYKO und GRIGOR'EV 1959
Aus: Klimat SSSR, vyp. 3: O. M. ČELPANOVA, Srednjaja Azija 1963

II	feucht ($\frac{R}{L \cdot r} = 0,45-1,00$)	3	mäßig warm ($\Sigma \Theta_w = 1000-2200^\circ$)	C	mäßig rau, schneearm
III	unzureichend feucht ($\frac{R}{L \cdot r} = 1,00-3,00$)	4	warm ($\Sigma \Theta_w = 2200-4400^\circ$)	D	mäßig rau, schneereich
IV	trocken ($\frac{R}{L \cdot r} = > 3,00$)	5	sehr warm ($\Sigma \Theta_w = > 4400^\circ$)	E	mäßig mild
				F	mild

gabe der mittleren Schneedeckenhöhe und der Januar-Temperatur hinzugefügt (Tab. 3).

Auf Grund der Kombination dieser drei Merkmale wurden die klimatischen Gebiete abgegrenzt und jeweils durch einen Index dargestellt, z. B. III 4 D (klimatische Trockenheitsverhältnisse – thermische Verhältnisse der warmen Jahreszeit – thermische und Schneeverhältnisse der kalten Jahreszeit).

Insgesamt ergeben sich danach für die USSR nach den Kriterien der Tabelle 1 und 2 zwölf Haupttypen klimatischer Zonen (theoretisch möglich sind 20), die durch die Einbeziehung des dritten Merkmales in 31 Untertypen klimatischer Gebiete aufgeteilt wurden.

Zur Veranschaulichung der Klassifikation habe ich als Ausschnitt der Klimakarte der USSR Sowjet-Mittelasiens gewählt. Einmal liegt für dieses Gebiet bereits eine von O. M. ČELPANOVA (1963) korrigierte Fassung der Klimakarte von GRIGOR'EV und BUDYKO vor. Zum anderen handelt es sich hier um einen Bereich, der, nicht zuletzt durch die Höhenstufung be-

dingt, durch sehr gegensätzliche Raumkomponenten gekennzeichnet ist, so daß fast alle Klimate zur Darstellung kommen. Mit Ausnahme von I und 1, 2 tauchen alle Feucht- und Wärmestufen auf und unter Ausklammerung von A, B alle winterlichen Regime (Abb. 4).

Hat die Konzeption und Idee dieser Klimaklassifikation von BUDYKO und GRIGOR'EV, die in manchen Zügen Ähnlichkeit mit jener von THORNTHWAITTE (1931 und 1948) entwickelten Klimaklassifikation aufweist, allgemein Anerkennung gefunden, so ist an den Berechnungsverfahren der Bodenoberflächentemperatur und der pot. Verdunstung sowie an der Abstufung der grenzbildenden Faktoren Kritik geübt worden.

ŠAŠKO z. B. kritisiert eine Ungenauigkeit der Berechnung der Bodenoberflächentemperatur, die nicht mit Hilfe tatsächlich gemessener Lufttemperaturen, sondern mit Hilfe der Wärmebilanzgleichung bestimmt worden ist. Das komplizierte Berechnungsverfahren der Bodenoberflächentemperatur über die

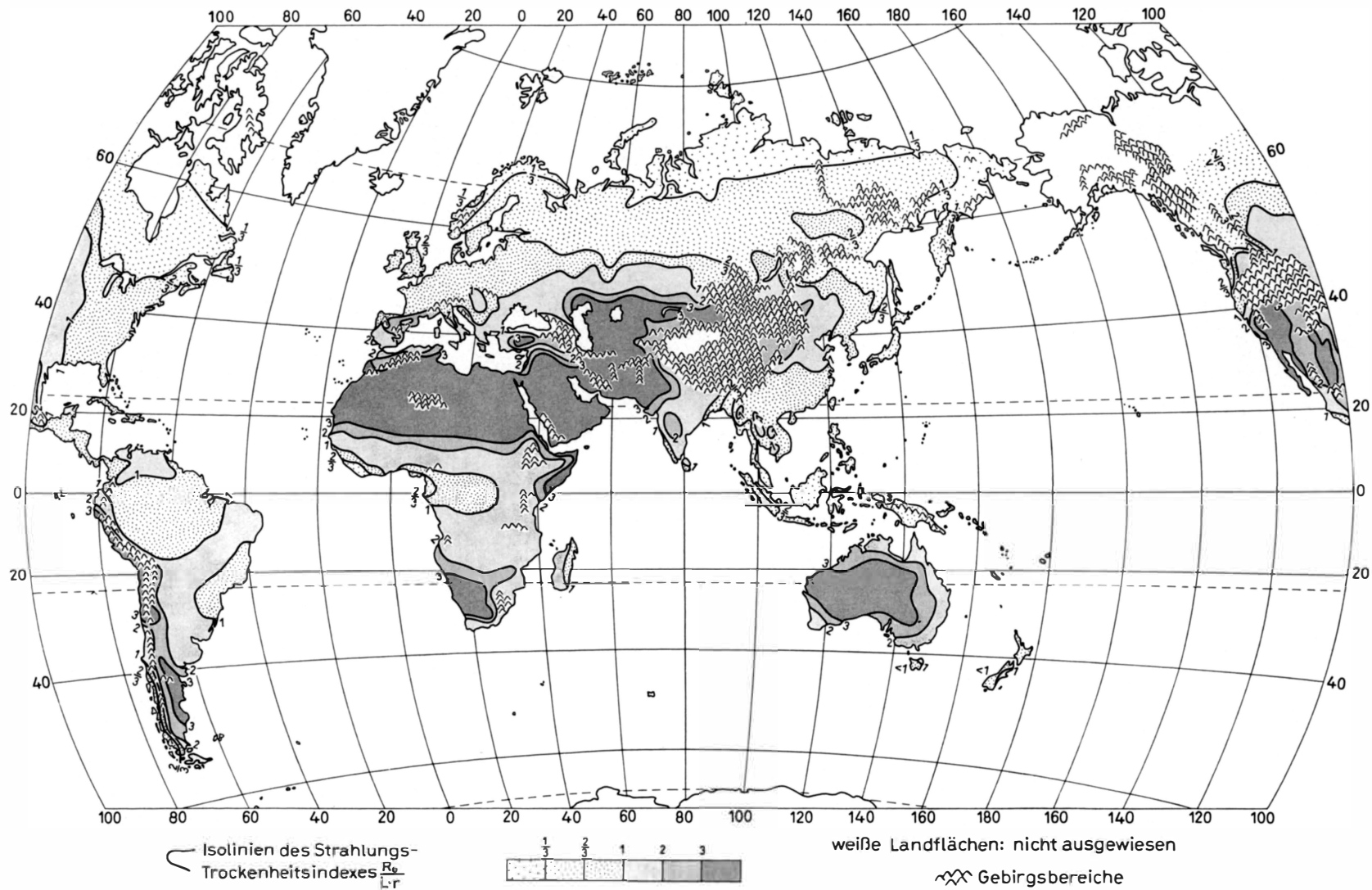


Abb. 5: Karte des Strahlungs-Trockenheitsindex $\frac{R_0}{L \cdot r}$ nach BUDYKO 1955

Wärmebilanzgleichung gewährleistete keine hinreichende Genauigkeit der Berechnung. ŠAŠKO weist darauf hin, daß die nach der Wärmebilanzgleichung berechnete Summe der Bodenoberflächentemperatur für Perioden mit Lufttemperaturen über 10°C um 300–500°C in den nördlichen und mittleren Breiten und um 800–1000°C und mehr in den südlichen Breiten der USSR von der Summe der Lufttemperaturen in dieser Periode abweicht.

Ebenso wird an dem Berechnungsverfahren der pot. Verdunstung und damit an der Bestimmung des Strahlungs-Trockenheitsindex Kritik geübt. Dies ist nicht verwunderlich, da in die Berechnung mehrere durchaus nicht unproblematische Konstanten und Parameter eingehen. Ein Vergleich von pot. Verdunstungswerten, die von IVANOV (1941, 1948), DAVYDOV (1944), ZAJKOV (1949) und BUDYKO (1948ff.) nach verschiedenen Berechnungsverfahren bestimmt wurden, ergibt beispielsweise, daß die von BUDYKO über die Wärmebilanzgleichung berechneten pot. Verdunstungswerte in humiden Gebieten der USSR bis zu 30–50%, in ariden Gebieten bis zu 50–60% unter denen der übrigen Autoren liegen (hierzu vgl. IVANOV 1954, S. 191ff. und BUDYKO 1956, S. 156ff.). Unzureichend befeuchtete Gebiete können infolgedessen in der Klimaklassifikation von BUDYKO und GRIGOR'EV unter Feuchtklimaten erscheinen wie z. B. einige Bereiche Jakutiens (Rajone Amga, Ust'-Maja, Verchojansk, Ojmjakon), die nach ŠAŠKO (1967, S. 21) aber arid sind.

Die zur Klassifikation der Klimate gewählten Abstufungen des Strahlungs-Trockenheitsindex, der Temperatursummen sowie der Januar-Temperatur und der mittleren Schneedeckenhöhe entbehren gleichfalls nicht einer Problematik. Diese geht schon aus der Tatsache hervor, daß die Autoren selbst in vorausgehenden Arbeiten (vgl. BUDYKO 1955b, 1956; GRIGOR'EV/BUDYKO 1956b) mehrfach die Abstufungen geändert haben.

Eine nach dieser Klassifikation entwickelte Klimakarte für die gesamte Erde liegt meines Wissens noch nicht vor. Indessen existiert aber für die gesamte Erde eine Karte der Strahlungsbilanz (von BUDYKO zuletzt im Atlas der Wärmebilanz, Moskau 1963, und im physisch-geographischen Weltatlas, Moskau 1964, publiziert). Ebenso ist eine Weltkarte des Strahlungs-Trockenheitsindex $\frac{R_0}{L \cdot r}$ entworfen worden (BUDYKO 1955b, Abb. 5). Für die Konstruktion dieser Karte (Abb. 5) wurde eine speziell vorbereitete Karte der Strahlungsbilanz für eine befeuchtete Erdoberfläche entwickelt (Berechnung der Strahlungsbilanz R_0 nach früheren Verfahren, s. BUDYKO u. a. 1954b). Die Größe des Albedo wurde hierbei außer in Perioden mit einer Schneedecke in entsprechender Voraussetzung einer befeuchteten Erdoberfläche zu 0,18 angenommen.

Mit Hilfe dieser Karte und den erforderlichen Niederschlagswerten wurde für 1600 Stationen der Strahlungs-Trockenheitsindex $\frac{R_0}{L \cdot r}$ berechnet. Die anschließende Konstruktion verschiedener Isolinien des Index führte trotz der 1600 Stationen, die rela-

tiv gleichmäßig über das gesamte Festland verbreitet lagen, zu einer mehr oder weniger schematischen Darstellung. Vergleicht man diese Karte mit der im physisch-geographischen Weltatlas (1964) publizierten Karte der klimatischen Bereichsgliederung der USSR, die ja auch Isolinien des Strahlungs-Trockenheitsindex enthält, so vermittelt die 1955 entworfene Weltkarte des Strahlungs-Trockenheitsindex doch nur einen groben Überblick.

Dargestellt sind in der Karte die Isolinien 1/3, 2/3, 1, 2 und 3. Nicht erfaßt sind die Gebirgsbereiche sowie die nördlichen Teile Nordamerikas, da zuverlässige Daten sowohl über die Strahlung wie auch über den Niederschlag fehlten. Wohl auf Grund des relativ kleinen Maßstabes der Karte (Äquatormaßstab 1:185 Mill.) finden ebenso die Vorgebirgsbereiche keine Darstellung.

Mit den kleinsten Indexgrößen fallen als Feuchtbereiche die höheren Breiten der Kontinente auf, wo die Verdunstung sehr gering ist. Fast alle nördlich des 58. Breitenkreises liegenden Bereiche des nordamerikanischen und eurasiatischen Kontinents weisen Indexwerte unter 2/3 auf. Die nördlichen Teile Neufundlands, Skandinaviens und der Halbinsel Kola sowie die sibirischen Bereiche etwa nördlich des Polarkreises besitzen dabei Werte unter 1/3. Indexwerte unter 2/3 treten in den tropischen Gebieten lediglich in der Insulinde, auf der Malaiischen Halbinsel sowie in einem schmalen Küstensaum Liberias, Nigerias und Kameruns auf. Diesen Feuchtgebieten gegenüber stehen als Trockengebiete mit Indexwerten über 3 die Wüsten der Erde. Die bisher nicht genannten, vor allem zur Zone der kühl- und warmgemäßigten Breiten sowie zu den Tropen gehörenden Gebiete besitzen im allgemeinen Werte zwischen 2/3 und 1.

Literatur

Abkürzungen:

- Izv. AN SSSR, ser. geogr. = Izvestija Akademii nauk SSSR, serija geografičeskaja
 Izv. AN SSSR, ser. geogr. i geofiz. = Izvestija Akademii nauk SSSR, serija geografičeskaja i geofizičeskaja
 Izv. Vses. geogr. obšč. = Izvestija Vsesojuznogo geografičeskogo obščestva
 Meteor. i gidr. = Meteorologija i gidrologija
 Trudy NIU GUGMS = Trudy Naučno-issledovatel'skich učreždenij. Glavnoe upravlenie gidrometeorologičeskoj služby pri Sovete Ministroj SSSR
 Trudy GGI = Trudy Gosudarstvennogo ordenatruskogo gidrologičeskaja instituta
 Trudy GGO = Trudy Glavnoj geografičeskoj observatorii imeni A. I. Voejkova, Leningrad

- ALISOV, B. P., O. A. DROZDOV, E. S. RUBINŠTEJN: Kurs klimatologii, čast I i II, Leningrad 1952; deutsche Übersetzung: Lehrbuch der Klimatologie, Berlin 1956.
 BERENYJ, D.: Mikroklimatologie. Mikroklima der bodennahen Atmosphäre (Übers. aus dem Ungarischen), Stuttgart 1967.
 BUDYKO, M. I.: Izmerenie estestvennogo isparenija. In: Trudy NIU GUGMS, ser. I, vyp. 34, 1946a.
 – : Metody opredelenija estestvennogo isparenija, In: Meteor. i gidr., Nr. 3, 1946b.

- : O vodnom i teplovom balansach poverchnosti suši, In: Meteor. i gidr., Nr. 5, 1947.
- : Isparenie v estestvennyh uslovijach, Leningrad 1948a.
- : O zakonornostjach poverchnostnogo fiziko-geografičeskogo processa. In: Meteor. i gidr., Nr. 4, 1948b.
- : Teplovoj balans severnogo polušar'ija. In: Trudy GGO, vyp. 18 (80), 1949.
- : Klimatičeskie faktory vnešnego fiziko-geografičeskogo processa. In: Trudy GGO, vyp. 19 (81), 1950a.
- , O. A. DROZDOV: O vlagoborote na ograničenoj territorii suši. In: Sb. „Voprosy gidrometeorologičeskoj effektivnosti poležaščitnogo lesorazvedenija“, Leningrad 1950b.
- : O vlijanii meliorativnyh meroprijatij na isparjaemost. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 1, 1951a.
- : O klimatičeskich faktorach stoka. In: Problemy fizičeskoj geografii, vyp. XVI, 1951b.
- , M. P. TIMOFEEV: O metodach opredelenija isparenija. In: Meteor. i gidr., Nr. 9, 1952.
- , O. A. DROZDOV: Zakonomernosti vlagoborota v atmosfere. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 4, 1953.
- : O preobrazovanii solnečnoj energii na poverchnosti zemli. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 1, 1954.
- , T. G. BERLJAND, L. I. ZUBENOK: Teplovoj balans poverchnosti zemli. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 3, 1954a.
- , T. G. BERLJAND, L. I. ZUBENOK: Metodika klimatičeskich raščetov sostavljajuščich teplovo balansa. In: Trudy GGO, vyp. 48 (110), 1954b.
- , M. I. JUDIN, N. I. JAKOVLEVA: Isparenie s orošaemych učastov i isparjaemost'. In: Meteor. i gidr., Nr. 1, 1954c.
- : Klimatičeskie uslovija uvlaženija na materikach. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 2, 1955a (Teil I).
- : Klimatičeskie uslovija uvlaženija na materikach. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 4, 1955b (Teil II).
- : Ob opredelenii isparenija s poverchnosti suši. In: Meteor. i gidr., Nr. 1, 1955c.
- : Teplovoj balans zemnoj poverchnosti, Leningrad 1956. (Deutsche Übersetzung unter dem Titel „Der Wärmehaushalt der Erdoberfläche“ von E. PELZL, erschienen in: Fachl. Mitteil., hrsg. v. Insp. Geophys. Beratungsdienst [Geophys. BDBw-FMI/18] Porz-Wahn 1963.)
- : Temperatura dejatel'noj poverchnosti i ee bioklimatičeskoe značenie. In: sb. „Sovremennye problemy meteorologii prizemnogo sloja vozducha“, Leningrad 1958.
- , L. I. ZUBENOK: Isparenie s poverchnosti suši. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 6, 1961.
- ČELPANOVA, O. M.: Srednjaja Azija. In der Reihe: Klimat SSSR, vyp. 3, Leningrad 1963.
- DAVYDOV, V. K.: Isparenie s vodnoj poverchnosti v Evropejskoj časti SSSR. In: Trudy NIU GUGMS, ser. IV, vyp. 12, 1944.
- FLOHN, H.: Ein russischer Atlas des Wärmehaushalts der Erdoberfläche. In: Erdkunde Bd. 12, 1958, S. 233–237.
- : Zur Frage der Einteilung der Klimazonen. In: Erdkunde Bd. 11, 1957, S. 161–175.
- GRIGOR'EV, A. A.: Nekotorye itogi razrabotki novych idej v fizičeskoj geografii. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr. i geofiz., Nr. 2, 1946.
- : Geografičeskaja zonal'nost' i nekotorye ee zakonornosti. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 5 u. Nr. 6, 1954.
- , M. I. BUDYKO: O periodičeskom zakone geografičeskoj zonal'nosti. In: Doklady AN SSSR, Nr. 1, tom 110, 1956b.
- , M. I. BUDYKO: Klassifikacija klimatov SSSR. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 3, 1959.
- IVANOV, B. G.: Godovoe isparenie v osnovnyh geografičeskich zonach. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr. i geofiz., Nr. 3, 1940.
- IVANOV, N. N.: Zony uvlaženija zemnogo šara. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr. i geofiz., Nr. 3, 1941.
- : Landšaftno-klimatičeskie zony zemnogo šara. In: Zapiski Vsesojuznogo geografičeskogo obščestva, novaja serija, t. 1, 1948.
- : Ob opredelenii veličiny isparjaemosti. In: Izv. Vses. geogr. obšč., t. 86, Nr. 2, 1954.
- KUZIN, P. S.: Grafik isparenija s poverchnosti rečnogo bassejna i ego primenenie k raščetu srednego mnogoletnogo stoka. In: Zapiski GGI, t. 12, 1934.
- : Ob isparenii s poverchnosti počvy. In: Trudy GGI, vyp. 7, 1938.
- : Karta isparenija s poverchnosti rečnyh bassejnov Sojuza SSR. In: Meteor. i gidr., Nr. 11, 1940.
- : Isparenie s suši na territorii SSSR. In: Trudy GGI, vyp. 26 (80), 1950.
- LAVRENKO, E. M., V. B. SOČAVA: Geobotaničeskaja karta SSSR, Leningrad 1954.
- OL'DEKOP, E. M.: Ob isparenii s poverchnosti rečnyh bassejnov. In: Trudy Jur'evskoj observatorii, 1911.
- SERJAKOVA, L. P.: Opredelenie isparjaemosti i raščety norm orošenija. In: Izv. AN SSSR, ser. geogr., Nr. 6, 1957.
- ŠAŠKO, D. I.: Agroklimatičeskoe rajonirovanie SSSR, Moskau 1967.
- THORNTHWAITE, C. W.: The climates of North America according to a new classification. In: Geographical Review 21, 1931.
- : Climates of the earth. In: Geographical Review 23, 1933.
- : An approach toward a rational classification of climate. In: Geographical Review 38, 1948.
- ZAJKOV, B. D.: Isparenie s vodnoj poverchnosti prudov i malych vodochranilišč na territorii SSSR. In: Trudy GGI, vyp. 21 (75), 1949.
- ZUBENOK, L. I., N. A. EFIMOVA, V. V. MUCHENBERG: Materialy k klimatičeskomu rajonirovaniju SSSR. In: Trudy GGI, vyp. 76, 1958.
- Atlas teplogo balansa* (Hrsg. M. I. BUDYKO), Leningrad 1955, Moskau 1963.
- Fiziko-geografičeskij Atlas Mira*, Moskau 1964 (Karte: Klimatičeskoe rajonirovanie SSSR, S. 203; zugehöriger Kommentar S. 270/271).