

Halina NIEDZIAŁEK

**Dzienne sumy całkowitego promieniowania słonecznego
w różnych masach powietrznych w Puławach**

Суточные суммы суммарной солнечной радиации в разных воздушных массах
в Пулавах

Daily Sums of Global Solar Radiation in Various Air Masses in Puławy

Powiązanie całkowitego promieniowania słonecznego z rodzajem masy powietrznej jest zagadnieniem interesującym. W latach 30 dla poszczególnych mas powietrznych zaczęto określać wskaźniki ekstynkcji, wyznaczane na podstawie pomiarów promieniowania bezpośredniego (Bielecki 1941; Friedrichs 1930; Jarosławcew 1932; Mamontowa, Chromow 1933; Torleckaja, But 1934), lecz w opracowaniach tych pomijano zagadnienie zależności promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi od mas powietrznych, mimo że materiały umożliwiające poznanie tej zależności musiały być zebrane jako dane wyjściowe. Do dzisiaj brakuje obszerniejszych opracowań na ten temat.

Pierwszą pracę tego typu w literaturze polskiej stanowi studium Misiewicz (1975), w którym określono zależność różnych elementów meteorologicznych, m. in. promieniowania, od mas powietrznych. Zasygnalizowanie istnienia takiego związku można znaleźć też w innych opracowaniach. W każdym z nich są to jednak tylko krótkie wzmianki (Dubicka 1972; Podogrocki 1974). W związku z tym podjęto próbę określenia, czy i w jakim stopniu promieniowanie całkowite w Puławach wykazuje związek z poszczególnymi rodzajami mas powietrznych, tzn. czy rodzaj masy powietrznej może wpływać na ilość dopływającego promieniowania słonecznego w Puławach (Niedziałek 1981). Wyniki tego opracowania wskazują, iż zależność ta jest bardzo wyraźna. Doty-

czy to średnich dziennych i miesięcznych sum promieniowania całkowitego oraz charakterystyki nazwanej względną przewagą promieniowania. Niniejsza praca przedstawia natomiast częstość występowania określonych dziennych sum promieniowania całkowitego w różnych masach powietrznych.

Wielkość i częstość tych sum, charakter ich rozkładu w poszczególnych miesiącach i w ciągu roku mogą być wykorzystane w praktyce do oceny wielkości wpływu promieniowania słonecznego na procesy klimatotwórcze, a także do określania terapeutycznych cech klimatu solarnego danej miejscowości.

Materiałem wyjściowym do opracowania były dzienne sumy promieniowania całkowitego w Puławach z lat 1966—1975 oraz mapy synoptyczne z terminów 00 i 12 GMT, opublikowane w Biuletynie Synoptycznym IMGW (d. PIHM).

Na podstawie codziennych pomiarów promieniowania całkowitego w Puławach obliczono liczbę przypadków i częstość sum dziennych tego elementu w określonych przedziałach klasowych co $50 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ($2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Obliczenia te wykonano dla dni pogrupowanych według następującego schematu:

a) dla wszystkich dni 10-lecia (dw + dn);

b) dla dni o pogodzie kształtującej się w warunkach wewnątrzmasowych przez całą dobę; z dalszym podziałem według rodzajów mas powietrznych; wydzielono 7 rodzajów mas powietrznych zgodnie z geograficzną klasyfikacją zaproponowaną przez Rafałowskiego, Bołaszewską, Reutt (1955); są to następujące rodzaje mas powietrznych: powietrze arktyczne (PA), powietrze arktyczne stare (PAs), powietrze polarne morskie (PPm), powietrze polarne morskie ciepłe (PPmc), powietrze polarne morskie stare (PPms), powietrze polarne kontynentalne (PPk) i powietrze zwrotnikowe (PZ). Dni, w których Puławy znajdowały się przez całą dobę w zasięgu jednorodnej masy powietrznej, nazywano „wewnątrzmasowymi” (dw);

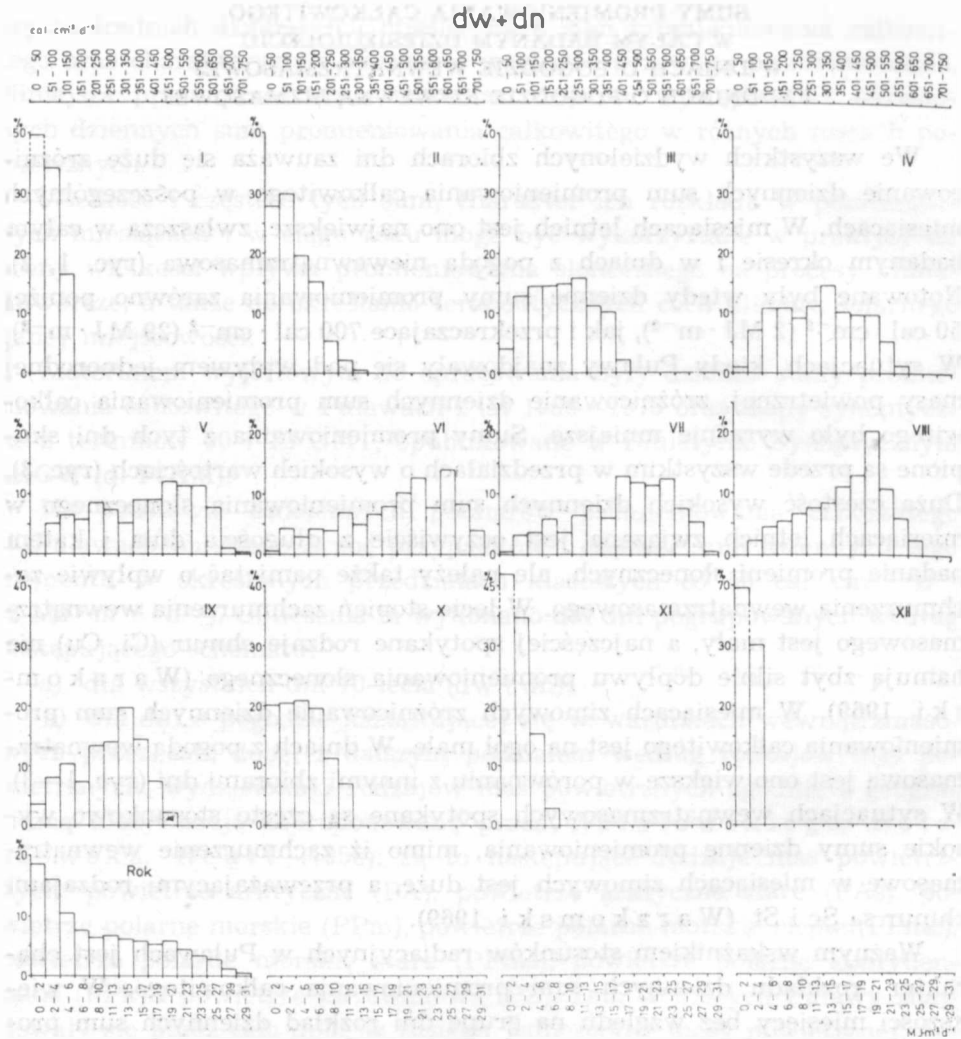
c) dla dni, w których Puławy nie znajdowały się w zasięgu jednorodnej masy powietrznej przez całą dobę; są to dni: z przejściem frontów, z obecnością strefy zjawisk frontowych ewentualnie ze zmianą rodzaju masy powietrznej nie związaną z przejściem typowego frontu atmosferycznego; dni te określano jako „niewewnątrzmasowe” (dn).

Na podstawie otrzymanych danych wykreślono odpowiednie histogramy (ryc. 1—3, 6—10).

SUMY PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO
W CAŁYM BADANYM DZIESIĘCIOLECIU
W DNIACH O POGODZIE WEWNĄTRZMASOWEJ
I W DNIACH O POGODZIE NIEWEWNĄTRZMASOWEJ

We wszystkich wydzielonych zbiorach dni zauważa się duże zróżnicowanie dziennych sum promieniowania całkowitego w poszczególnych miesiącach. W miesiącach letnich jest ono największe, zwłaszcza w całym badanym okresie i w dniach z pogodą niewewnętrzmasową (ryc. 1, 2). Notowane były wtedy dzienne sumy promieniowania zarówno poniżej $50 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), jak i przekraczające $700 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). W sytuacjach, kiedy Puławy znajdowały się pod wpływem jednorodnej masy powietrznej, zróżnicowanie dziennych sum promieniowania całkowitego było wyraźnie mniejsze. Sumy promieniowania z tych dni skupione są przede wszystkim w przedziałach o wysokich wartościach (ryc. 3). Duża częstość wysokich dziennych sum promieniowania słonecznego w miesiącach letnich związana jest oczywiście z długością dnia i kątem padania promieni słonecznych, ale należy także pamiętać o wpływie zachmurzenia wewnętrzmasowego. W lecie stopień zachmurzenia wewnętrzmasowego jest mały, a najczęściej spotykane rodzaje chmur (Ci, Cu) nie hamują zbyt silnie dopływu promieniowania słonecznego (W a r a k o m s k i 1969). W miesiącach zimowych zróżnicowanie dziennych sum promieniowania całkowitego jest na ogół małe. W dniach z pogodą wewnętrzmasową jest ono większe w porównaniu z innymi zbiorami dni (ryc. 1—3). W sytuacjach wewnętrzmasowych spotykane są często stosunkowo wysokie sumy dzienne promieniowania, mimo iż zachmurzenie wewnętrzmasowe w miesiącach zimowych jest duże, a przeważającymi rodzajami chmur są Sc i St (W a r a k o m s k i 1969).

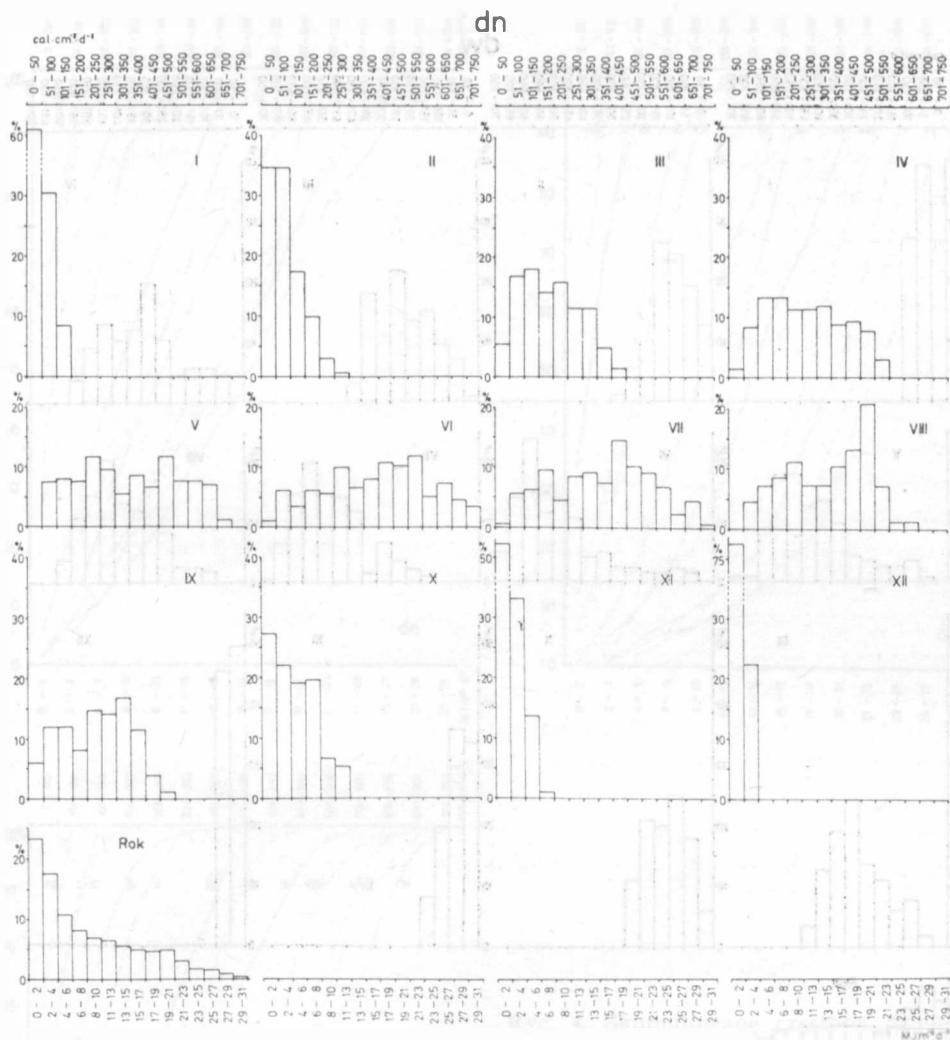
Ważnym wskaźnikiem stosunków radiacyjnych w Puławach jest charakter rozkładu dziennych sum promieniowania całkowitego. W większości miesięcy bez względu na grupę dni rozkład dziennych sum promieniowania nie jest symetryczny (ryc. 1—3). Zauważa się przewagę asymetrii ujemnej (głównie w miesiącach letnich), z maksimum częstości przypadającym na przedziały o wysokich wartościach. W miesiącach zimowych natomiast występuje asymetria dodatnia, tj. maksimum częstości dotyczy przedziałów o małych wartościach. Asymetria ujemna jest najwyraźniejsza w dniach o pogodzie kształtującej się w warunkach wewnętrzmasowych (ryc. 3). Bardzo często maksimum ma postać ostrego wierzchołka, który odzwierciedla wysokie sumy promieniowania w dniach o niewielkim zachmurzeniu (B i e r l a n d 1971). Potwierdza to wcześniej już wspomniane duże znaczenia dni wewnętrzmasowych, szczególnie w miesiącach letnich (maj—sierpień) pod względem dopływu promieniowania słonecznego (N i e d z i a ł e k 1981).



Ryc. 1. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach w całym badanym dziesięcioleciu 1966—1975 w Puławach
 Frequency of daily global radiation sums in intervals and of all days (dw+dn) in Puławy in the years 1966—1975

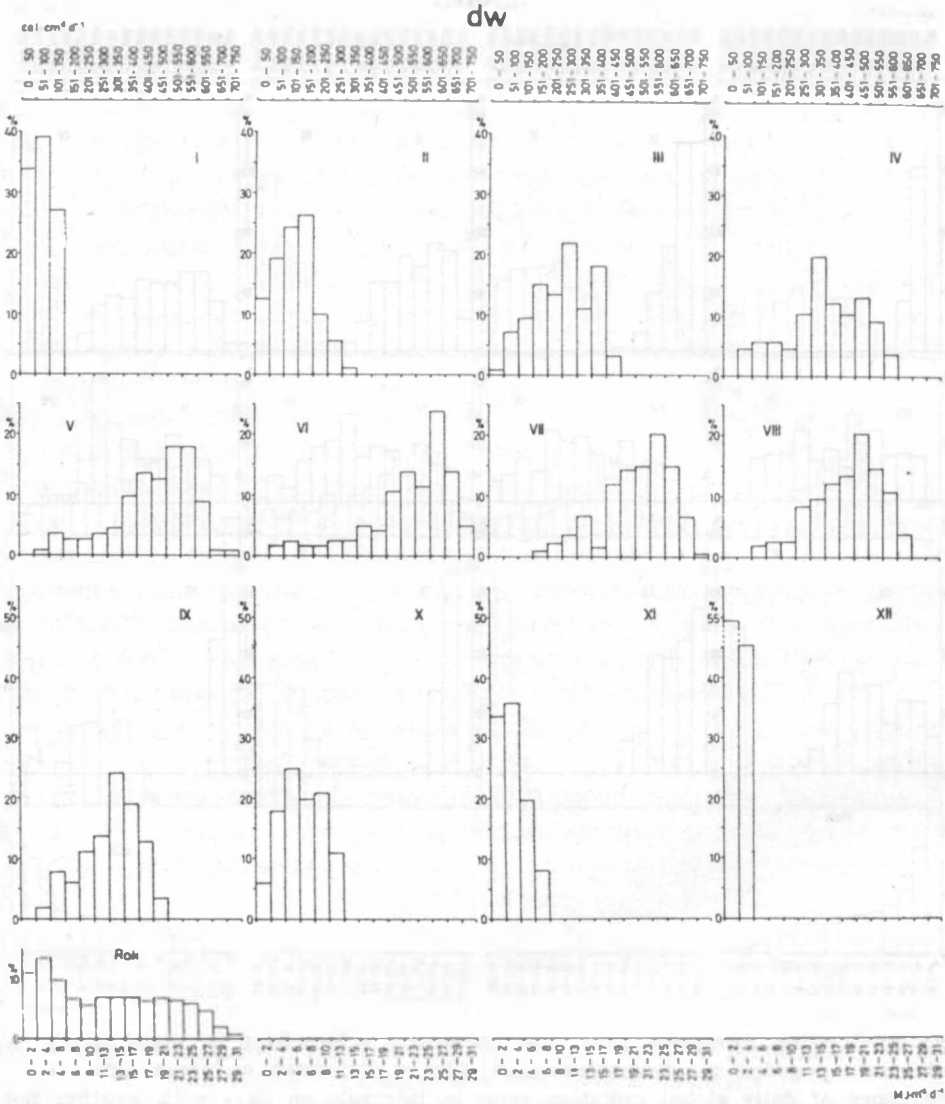
Podobne cechy w rozkładzie dziennych sum promieniowania całkowitego (bez podziału na sytuacje wewnątrzmasowe) zauważyli: Baraszkowa (1961) w 4 stacjach w ZSRR, Bierland (1971) w 14 stacjach azjatyckich (poza ZSRR) oraz Bennett (1967, 1975) w 84 stacjach Ameryki Północnej.

Świadectwem dużego znaczenia dni z pogodą wewnątrzmasową i ilustracją ich przewagi nad pozostałymi rodzajami dni jest rycina przed-



Ryc. 2. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach, w dniach o pogodzie niewewnętrzmasowej (dn) w Puławach w latach 1966—1975
 Frequency of daily global radiation sums in intervals on days with weather not connected with the occurrence of homogeneous air masses (dn) in Puławy in the years 1966—1975

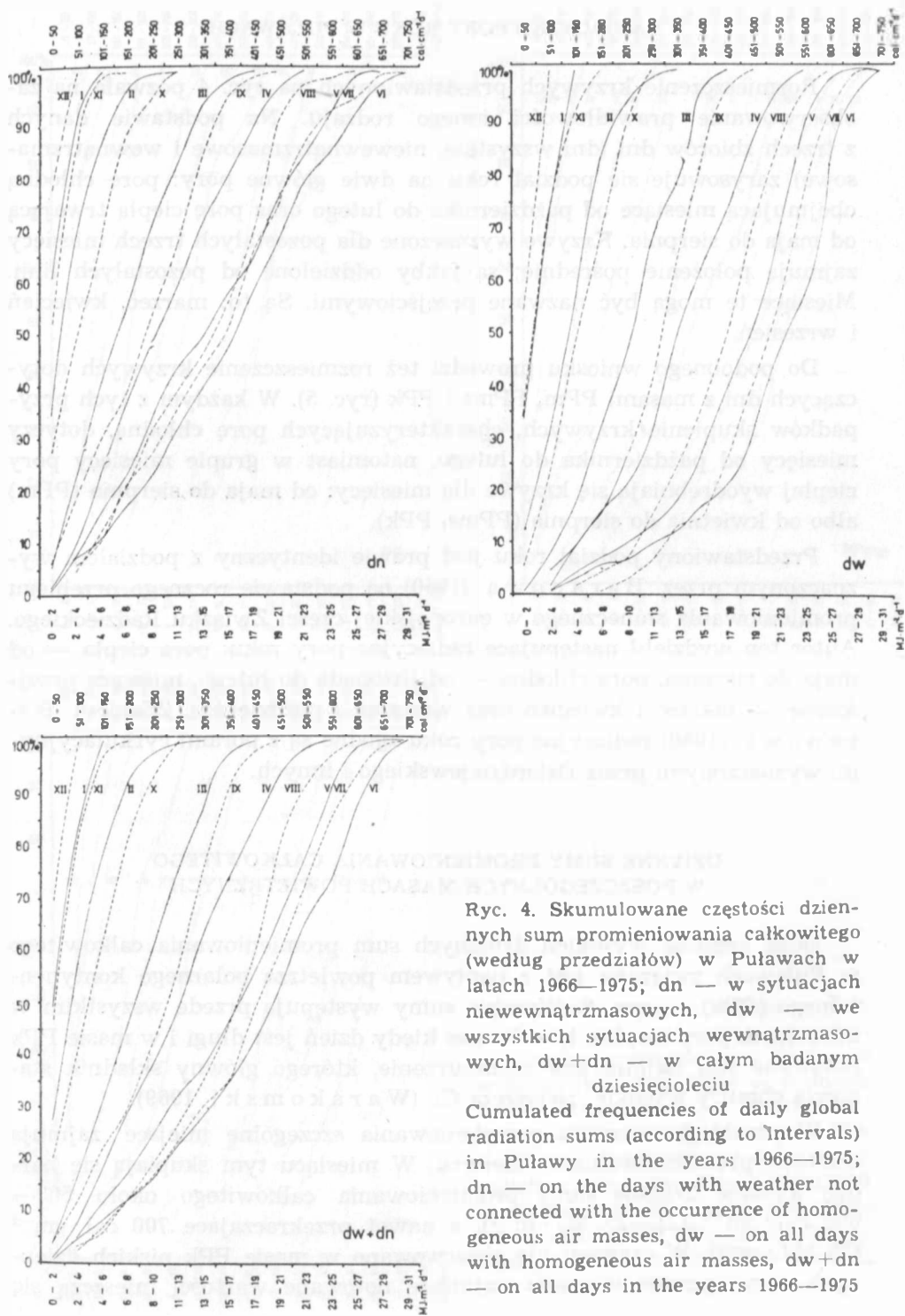
stawiająca skumulowane częstości dziennych sum promieniowania całkowitego w poszczególnych przedziałach. W każdym miesiącu, w grupie dni wewnętrzmasowych wysokie (odpowiednio dla danego miesiąca) dzienne sumy promieniowania całkowitego występują częściej niż w grupie dni z pogodą niewewnętrzmasową i w grupie dni wszystkich (ryc. 4). Zdecydowanie wyróżniają się miesiące letnie, co wynika nie tylko z długości dni i kąta padania promieni słonecznych, ale — o czym już wspomniano —



Ryc. 3. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach we wszystkich dniach o pogodzie wewnątrzmasowej (dw) w Puławach w latach 1966—1975

Frequency of daily global radiation sums in intervals on all days with homogeneous air masses (dw) in Puławy in the years 1966—1975

także z charakteru zachmurzenia wewnątrzmasowego (W a r a k o m s k i 1969).



Ryc. 4. Skumulowane częstości dziennych sum promieniowania całkowitego (według przedziałów) w Puławach w latach 1966—1975; dn — w sytuacjach niewewnątrzmasowych, dw — we wszystkich sytuacjach wewnątrzmasowych, dw+dn — w całym badanym dziesięcioleciu

Cumulated frequencies of daily global radiation sums (according to intervals) in Puławy in the years 1966—1975; dn — on the days with weather not connected with the occurrence of homogeneous air masses, dw — on all days with homogeneous air masses, dw+dn — on all days in the years 1966—1975

RADIACYJNE PORY ROKU W PUŁAWACH

Rozmieszczenie krzywych przedstawionych na ryc. 4 pozwala na zaobserwowanie prawidłowości innego rodzaju. Na podstawie danych z trzech zbiorów dni (dni wszystkie, niewewnętrzmasowe i wewnętrzmasowe) zarysowuje się podział roku na dwie główne pory: porę chłodną obejmującą miesiące od października do lutego oraz porę ciepłą trwającą od maja do sierpnia. Krzywe wyznaczone dla pozostałych trzech miesięcy zajmują położenie pośrednie; są jakby oddzielone od pozostałych linii. Miesiące te mogą być nazwane przejściowymi. Są to: marzec, kwiecień i wrzesień.

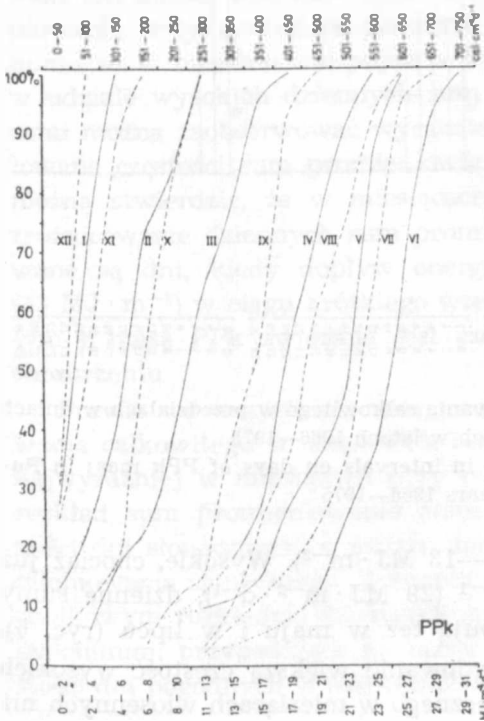
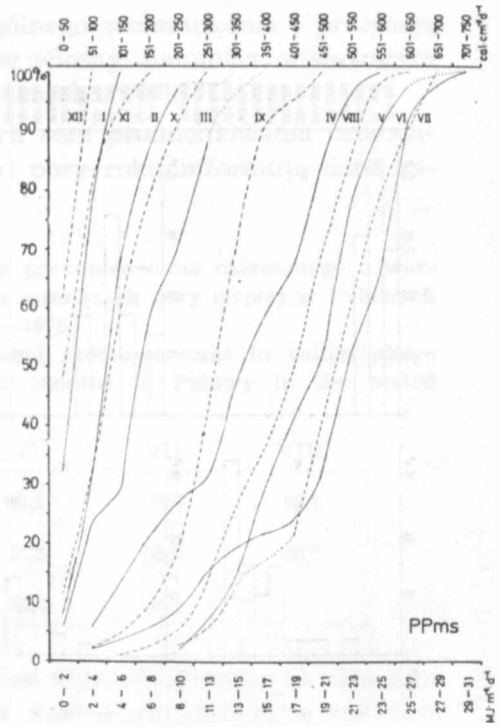
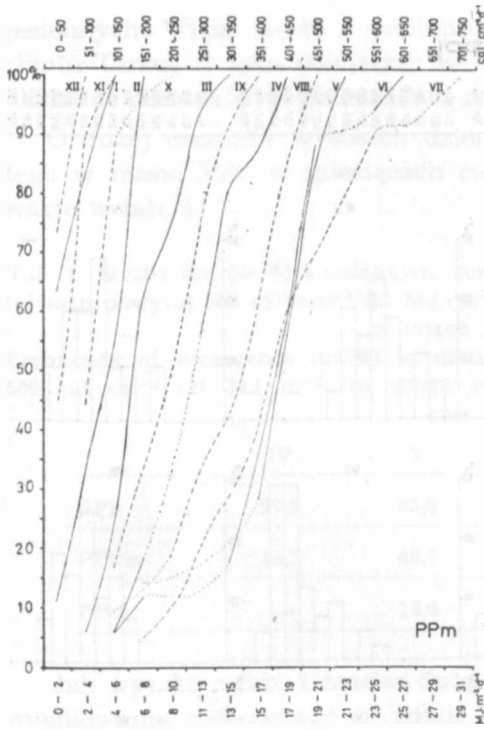
Do podobnego wniosku prowadzi też rozmieszczenie krzywych dotyczących dni z masami PPM, PPms i PPK (ryc. 5). W każdym z tych przypadków skupienie krzywych, charakteryzujących porę chłodną, dotyczy miesięcy od października do lutego, natomiast w grupie miesięcy pory cieplej wyodrębniają się krzywe dla miesięcy: od maja do sierpnia (PPM) albo od kwietnia do sierpnia (PPms, PPK).

Przedstawiony podział roku jest prawie identyczny z podziałem wyznaczonym przez Baranowa (1950) na podstawie rocznego przebiegu promieniowania słonecznego w europejskiej części Związku Radzieckiego. Autor ten wydzielił następujące radiacyjne pory roku: pora ciepła — od maja do sierpnia, pora chłodna — od listopada do lutego, miesiące przejściowe — marzec i kwiecień oraz wrzesień i październik. Zdaniem Baranowa (1950) radiacyjne pory roku zgodne są z porami cyrkulacyjnymi wyznaczonymi przez Dzierdziejewskiego i innych.

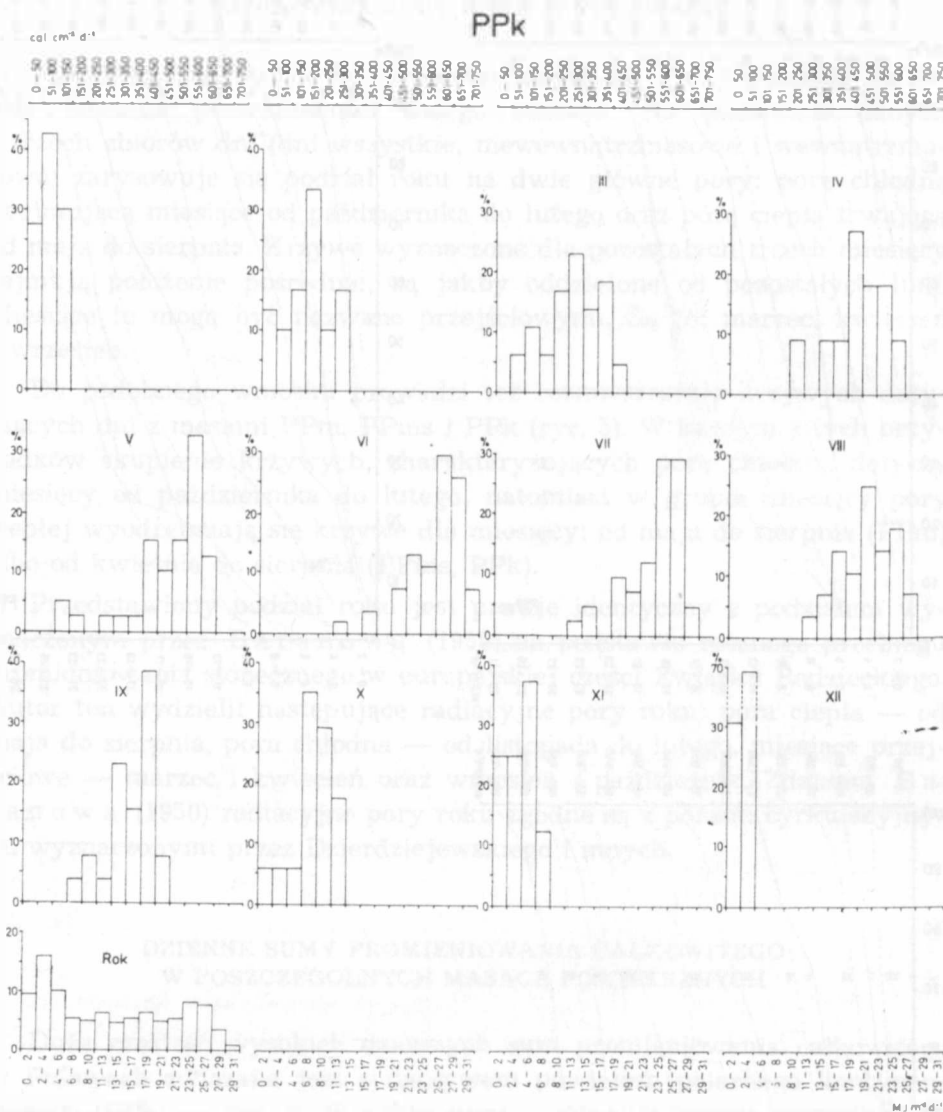
DZIENNE SUMY PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO
W POSZCZEGÓLNYCH MASACH POWIETRZNYCH

Duża częstość wysokich dziennych sum promieniowania całkowitego w Puławach związana jest z napływem powietrza polarnego kontynentalnego (PPK) — ryc. 6. Wysokie sumy występują przede wszystkim w miesiącach pory cieplej, tj. wówczas kiedy dzień jest długi i w masie PPK notowane jest najmniejsze zachmurzenie, którego główny składnik stanowią chmury wysokie, zwłaszcza Ci (Warakomski 1969).

W przebiegu rocznym promieniowania szczególne miejsce zajmują wartości promieniowania w czerwcu. W miesiącu tym skupiają się bardzo wysokie dzienne sumy promieniowania całkowitego około $500\text{--}600 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($21\text{--}25 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), a nawet przekraczające $700 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). W czerwcu nie obserwowano w masie PPK niskich dziennych sum promieniowania: najniższe notowane wartości mieszczą się



Ryc. 5. Skumulowane częstości dziennej sum promieniowania całkowitego (według przedziałów) w Puławach w latach 1966—1975; PPm — w dniach z masą PPm, PPms — w dniach z masą PPms, PPK — w dniach z masą PPK Cumulated frequencies of daily global radiation sums (according to intervals) in Puławy in the years 1966—1975; PPm — on days of PPm mass, PPms — on days of PPms mass, PPK — on days of PPK mass



Ryc. 6. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach w dniach z masą PPK w Puławach w latach 1966—1975

Frequency of daily global radiation sums in intervals on days of PPK mass in Puławy in the years 1966—1975

w przedziale $251\text{--}300 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($11\text{--}13 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). Wysokie, chociaż już nie przekraczające $700 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ($29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), dzienne sumy promieniowania całkowitego występują też w maju i w lipcu (ryc. 6).

W masie PPK zauważa się zdecydowanie większą częstość wysokich dziennych sum promieniowania słonecznego w miesiącach wiosennych niż

jesiennych. Wiąże się to z minimum ogólnego zachmurzenia i przewagą chmur Cirrus w tym powietrzu w czasie wiosny, natomiast z większym udziałem chmur St w jesieni (W a r a k o m s k i 1969).

O dużej częstotliwości wysokich dziennych sum promieniowania całkowitego w masie PPK w miesiącach ciepłej pory roku informują dane zawarte w tab. 1.

Tab. 1. Liczba dni (w %) z dziennymi sumami promieniowania całkowitego o wartościach powyżej $500 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($21 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) w miesiącach pory ciepłej w Puławach w latach 1966—1975

Frequency of occurrence (in %) of daily global radiation sums in values above $500 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($21 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) in warm season months in Puławy in the period 1966—1975

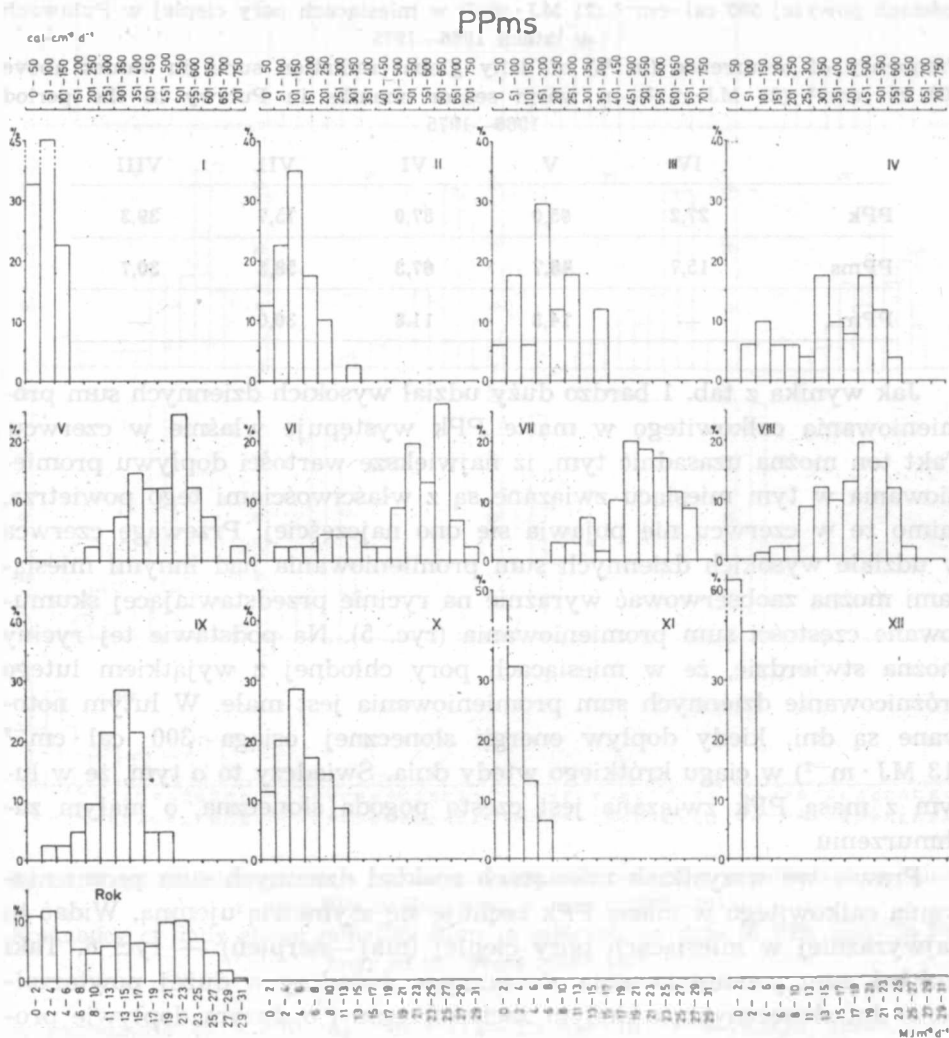
	IV	V	VI	VII	VIII
PPk	27,2	65,0	87,0	75,7	39,3
PPms	15,7	48,7	67,3	58,5	30,7
PPm	—	14,3	11,8	30,0	—

Jak wynika z tab. 1 bardzo duży udział wysokich dziennych sum promieniowania całkowitego w masie PPK występuje właśnie w czerwcu. Fakt ten można uzasadnić tym, iż największe wartości dopływu promieniowania w tym miesiącu związane są z właściwościami tego powietrza, mimo że w czerwcu nie pojawia się ono najczęściej. Przewagę czerwca w udziale wysokich dziennych sum promieniowania nad innymi miesiącami można zaobserwować wyraźnie na rycinie przedstawiającej skumulowane częstości sum promieniowania (ryc. 5). Na podstawie tej ryciny można stwierdzić, że w miesiącach pory chłodnej z wyjątkiem lutego zróżnicowanie dziennych sum promieniowania jest małe. W lutym notowane są dni, kiedy dopływ energii słonecznej osiąga $300 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($13 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) w ciągu krótkiego wtedy dnia. Świadczy to o tym, że w lutym z masą PPK związana jest często pogoda słoneczna, o małym zachmurzeniu.

Prawie we wszystkich miesiącach rozkład dziennych sum promieniowania całkowitego w masie PPK cechuje się asymetrią ujemną. Widać to najwyraźniej w miesiącach pory ciepłej (maj—sierpień) — ryc. 6. Taki rozkład sum promieniowania słonecznego świadczy o dużej powtarzalności dni słonecznych, o małym zachmurzeniu i o dużym dopływie promieniowania słonecznego. Zaznacza się to również w rocznym, dwuwierzchołkowym rozkładzie dziennych sum promieniowania (ryc. 6). Pierwsze maksimum, przypadające na niższe przedziały, jest wyrazem dużej częstotliwości dni pogodnych w miesiącach zimowych (w lecie wartości mieszczące

się w tych przedziałach nie występują), drugie związane jest z letnimi dniami pogodnymi, z dużym dopływem energii słonecznej.

Drugim rodzajem mas powietrznych, z którymi związane są wysokie dzienne sumy promieniowania całkowitego w Puławach, jest powietrze polarne morskie stare (PPms) — ryc. 7. W porównaniu z PPK w powietrzu tym zauważa się zmniejszenie częstości wysokich dziennych sum promieniowania i przesunięcie najczęściej występujących sum na prze-



Ryc. 7. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach w dniach z masą PPms w Puławach w latach 1966—1975

Frequency of daily global radiation sums in intervals, on days of PPms mass in Puławy in the years 1966—1975

działy o niższych wartościach, chociaż spotykane są także dni, w których suma promieniowania przekracza $700 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) — maj, czerwiec.

W wielu miesiącach w PPms występuje większe zróżnicowanie dziennych sum promieniowania całkowitego niż w PPk. Można sądzić, że zbliżone prawdopodobieństwo wystąpienia w masie PPms pogody słonecznej i pochmurnej jest przyczyną znacznej powtarzalności skrajnych przedziałów dziennych sum promieniowania całkowitego. Na przykład w czerwcu jednakowa była częstość dni z dopływem promieniowania słonecznego w przedziale $51\text{--}100 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($2\text{--}4 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), jak i ponad $700 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($29 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). Przyczyną tak dużego zróżnicowania wartości (szczególnie w miesiącach pory cieplej) jest duża różnorodność typów pogody i zachmurzenia w masie PPms, co zależy od zawartości w nim pary wodnej oraz od stopnia jego transformacji (Rafałowski, Bołaszewska, Reutt 1955; Warakomski 1969). W miesiącach letnich typowe dla tego powietrza są chmury C_u i C_b (Warakomski 1969). W dniach, kiedy występują chmury o budowie pionowej (zwłaszcza silnie rozbudowane w pionie) i nie zasłaniają Słońca, suma promieniowania całkowitego bywa większa niż przy niebie bezchmurnym. Wówczas promieniowanie bezpośrednie nie jest osłabione przez chmury, a dodatkowym zyskiem jest promieniowanie odbite od bocznych powierzchni chmur i docierające do powierzchni ziemi. Zwiększenie promieniowania całkowitego w wyniku zachmurzenia kłębiastego osiąga wartości rzędu 10—15% (Borisowa 1963; Dubicka 1972; Podogrocki 1971).

Rozkład dziennych sum promieniowania całkowitego w masie PPms w większości miesięcy (zwłaszcza letnich) wykazuje asymetrię ujemną, a w niektórych miesiącach (głównie zimowych) rozkład ten zbliżony jest do normalnego lub ma cechy asymetrii dodatniej (ryc. 7). W przebiegu rocznym rozkład dziennych sum promieniowania słonecznego jest trójwierzchołkowy, przy czym zdecydowanie wyróżniają się dwa równorzędne maksima, przypadające na małe i wysokie przedziały. Na rozkładzie tym wyraźnie odbija się różnorodność typów pogody i zachmurzenia typowa dla PPms (Rafałowski, Bołaszewska, Reutt 1955; Warakomski 1969). Jest ona przyczyną prawie jednakowej powtarzalności skrajnych przedziałów promieniowania w masie PPms przy pogodzie słonecznej i pochmurnej.

Powietrze polarne morskie stare i polarne kontynentalne to masy, z którymi związany jest duży dopływ energii słonecznej. Większe znaczenie w dopływie energii słonecznej ma jednak masa PPk, w której stosunkowo mały stopień zachmurzenia i rodzaj zachmurzenia stwarzają

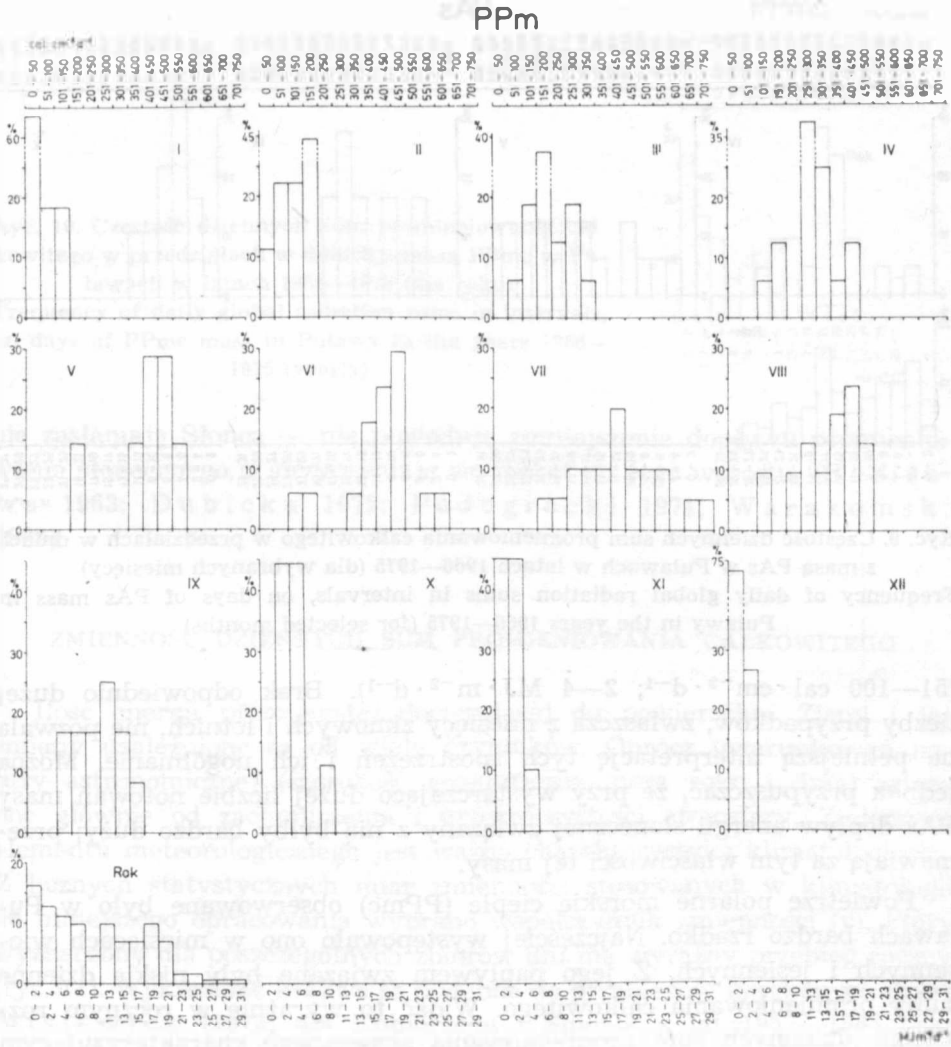
duże prawdopodobieństwo wystąpienia pogody słonecznej, o małym zachmurzeniu zarówno w porze ciepłej, jak i chłodnej.

Rola pozostałych mas powietrznych (PAs, PPm, PPmc, PZ) w różnicowaniu dopływu energii słonecznej do Puław jest zdecydowanie mniejsza niż dwu wcześniej omówionych mas.

W powietrzu polarnym morskim (PPm) zauważa się wyraźne zmniejszenie udziału wysokich dziennych sum promieniowania całkowitego oraz mniejszą różnorodność tych sum (ryc. 8). Jakkolwiek w lipcu spotykane są wartości bardzo duże w przedziale $701\text{--}750 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ($29\text{--}31 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), to w całej porze ciepłej wysoką częstością wyróżnia się przedział znacznie niższych wartości $401\text{--}450 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ($17\text{--}19 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Jest on najczęściej notowany w maju, lipcu i sierpniu. Wyjaśnienia tego można szukać w zachmurzeniu. W miesiącach letnich zachmurzenie w masie PPm jest na ogół duże, a typowymi chmurami są Cu i Cb oraz Sc (W a r a k o m s k i 1969). W przypadku dużego stopnia zachmurzenia ogólna ilość dopływającej energii słonecznej jest niewielka, natomiast przy obecności chmur typu Cu, nie zasłaniających Słońca, notowane są wysokie dzienne sumy promieniowania (B o r i s o w a 1963; D u b i c k a 1972; P o d o g r o c k i 1971). W porze chłodnej z obecnością masy PPm związane są wyraźnie mniejsze sumy energii słonecznej. Spowodowane jest to nie tylko krótkim dniem i małym kątem padania promieni słonecznych, ale także charakterem zachmurzenia wewnątrzmasowego. Zachmurzenie w tym powietrzu jest wtedy największe, a główny udział mają w nim chmury Sc (W a r a k o m s k i 1969).

Rozkład częstości dziennych sum promieniowania całkowitego w masie PPm wykazuje cechy asymetrii ujemnej tylko w kilku miesiącach pory ciepłej (maj, czerwiec, sierpień) oraz w lutym, a w większości pozostałych miesięcy występuje asymetria dodatnia (ryc. 8). W rozkładzie częstości dziennych sum promieniowania w roku zauważa się trzy maksima. W ogólnym rocznym zarysie rozkład ten cechuje się asymetrią dodatnią.

Powietrze arktyczne stare (PAs) notowane było w Puławach najczęściej wiosną i jesienią (kwiecień, maj, wrzesień, październik). Wówczas występowały w nim dość znaczne dzienne sumy promieniowania całkowitego (ryc. 9). Na przykład w marcu, kwietniu i wrześniu mieściły się one w przedziałach $351\text{--}400 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($15\text{--}17 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). Sprzyja temu niewielka zawartość pary wodnej w masie PAs, a także słaby zazwyczaj rozwój chmur lub nawet pogoda bezchmurna (W a r a k o m s k i 1969). W niektórych miesiącach (maj, wrzesień) w wyniku niewielkiego zachmurzenia wewnątrzmasowego wystąpiły pojedyncze przypadki, gdy w ciągu dnia dopływ promieniowania słonecznego przekraczał nawet $600 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($25 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$). W zimie masa PAs napływała do Puław

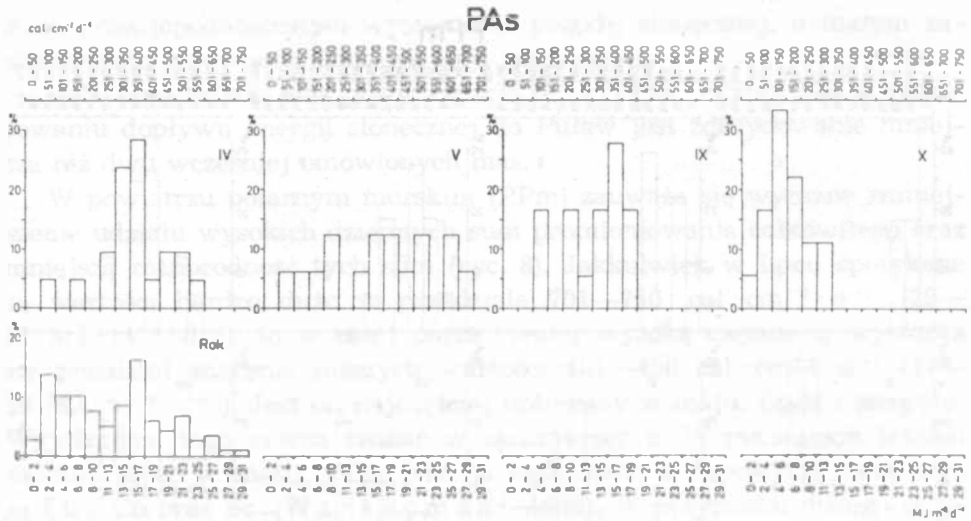


Ryc. 8. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach w dniach z masą PPM w Puławach w latach 1966—1975

Frequency of daily global radiation sums in intervals, on days of PPM mass in Puławy in the years 1966—1975

bardzo rzadko. W tych nielicznych dniach notowano w niej niezbyt wysokie sumy promieniowania całkowitego (poniżej $250 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$; $10 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$).

Roczny rozkład częstości dziennych sum promieniowania całkowitego w masie PAs ma przebieg dwuwierzchołkowy (ryc. 9). Główne maksimum przypada na przedział wysokich sum ($351\text{—}400 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; $15\text{—}17 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Drugie występuje w przedziałach małych wartości



Ryc. 9. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach w dniach z masą PAs w Puławach w latach 1966—1975 (dla wybranych miesięcy)
 Frequency of daily global radiation sums in intervals, on days of PAs mass in Puławy in the years 1966—1975 (for selected months)

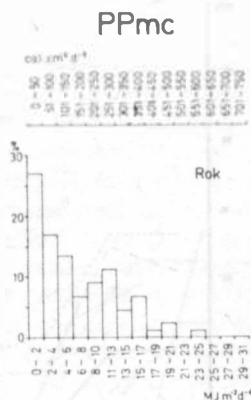
($51\text{--}100 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; $2\text{--}4 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Brak odpowiednio dużej liczby przypadków, zwłaszcza z miesięcy zimowych i letnich, nie pozwala na pełniejszą interpretację tych spostrzeżeń i ich uogólnianie. Można jednak przypuszczać, że przy wystarczająco dużej liczbie notowań masy PAs dopływ energii słonecznej związany z nią byłby bardzo duży; przemawiają za tym właściwości tej masy.

Powietrze polarne morskie ciepłe (PPmc) obserwowane było w Puławach bardzo rzadko. Najczęściej występowało ono w miesiącach wiosennych i jesiennych. Z jego napływem związane były niskie dzienne sumy promieniowania całkowitego. Widać to wyraźnie w rocznym rozkładzie dziennych sum promieniowania słonecznego charakteryzującym się asymetrią dodatnią (ryc. 10). Cechę tę można wiązać z dużym zachmurzeniem, charakterystycznym dla tego powietrza.

Powietrze zwrotnikowe (PZ) występowało w Puławach sporadycznie, głównie w miesiącach wiosennych i jesiennych. W 23 przypadkach, w których obserwowano je w Puławach, notowano dość wysokie sumy promieniowania całkowitego. Ten znaczny dopływ energii słonecznej można tłumaczyć tym, że powietrze zwrotnikowe napływa do Polski bardzo przetransformowane i zawiera często stosunkowo małe ilości pary wodnej. Także zachmurzenie jest w tym powietrzu niewielkie. W przypadku wzrostu wilgotności i wytworzenia się stratyfikacji sprzyjającej konwekcji w powietrzu zwrotnikowym powstają chmury Cu, które — jeśli

Ryc. 10. Częstość dziennych sum promieniowania całkowitego w przedziałach w dniach z masą PPmc w Puławach w latach 1966—1975 (dla roku)

Frequency of daily global radiation sums in intervals, on days of PPmc mass in Puławy in the years 1966—1975 (yearly)

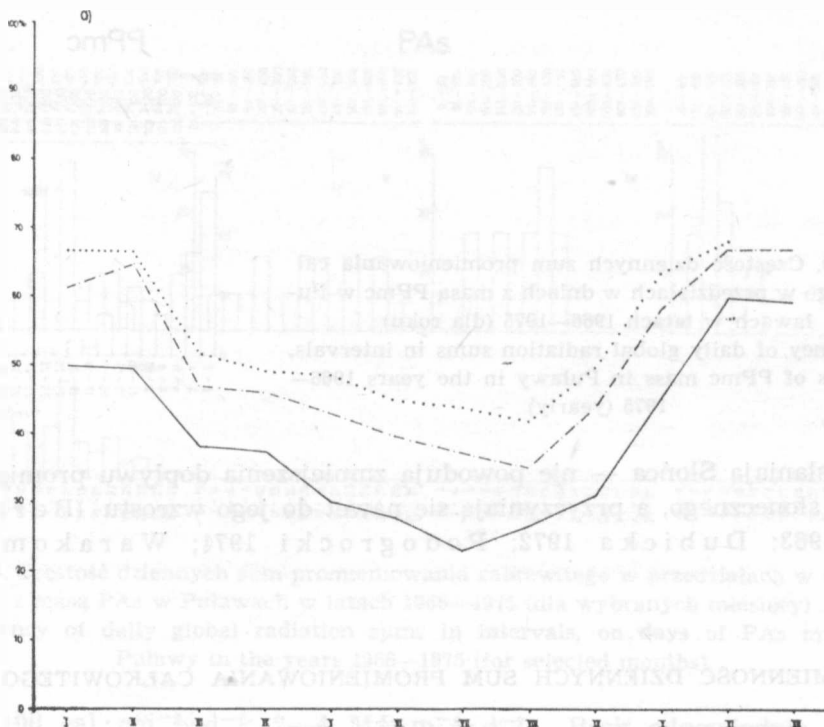


nie zasłaniają Słońca — nie powodują zmniejszenia dopływu promieniowania słonecznego, a przyczyniają się nawet do jego wzrostu (Borisowa 1963; Dubicka 1972; Podogrocki 1971; Warakomski 1969).

ZMIENNOŚĆ DZIENNYCH SUM PROMIENIOWANIA CAŁKOWITEGO

Ilość energii promienistej docierającej do powierzchni Ziemi i jej zmiany uzależnione są od wielu czynników. Oprócz uwarunkowań natury astronomicznej (szerokość geograficzna, pora roku i dnia) zależą one głównie od zachmurzenia i przezroczystości atmosfery. Zmienność elementu meteorologicznego jest ważną charakterystyką klimatologiczną. Z licznych statystycznych miar zmienności stosowanych w klimatologii do niniejszego opracowania wybrano współczynnik zmienności (v), który wyznaczony dla poszczególnych zbiorów dni ma wyraźny przebieg roczny (ryc. 11). Wykreślone krzywe są podobne do przebiegów uzyskanych przez Misiewicz (1975) dla Kołobrzegu i Suwałk z lat 1957—1965 oraz przez Podogrockiego (1977) dla Gdyni, Kołobrzegu, Suwałk, Warszawy i Brwinowa z lat 1961—1970.

W Puławach największe podobieństwo rocznego przebiegu współczynnika zmienności dotyczy dwóch zbiorów: całego badanego okresu i dni z pogodą niewewnętrzmasową. Maksimum przypada na grudzień, a minimum na sierpień. Bardzo podobny charakter ma przebieg współczynnika zmienności obliczony dla dni z pogodą wewnętrzmasową. W tym przypadku jednak maksimum występuje w listopadzie, minimum w lipcu, a w każdym miesiącu wartości są niższe niż w dwóch poprzednich przebiegach. Świadczy to o większej stabilności dopływu promieniowania, a pośrednio także o większej jednorodności typów pogody wewnątrz-



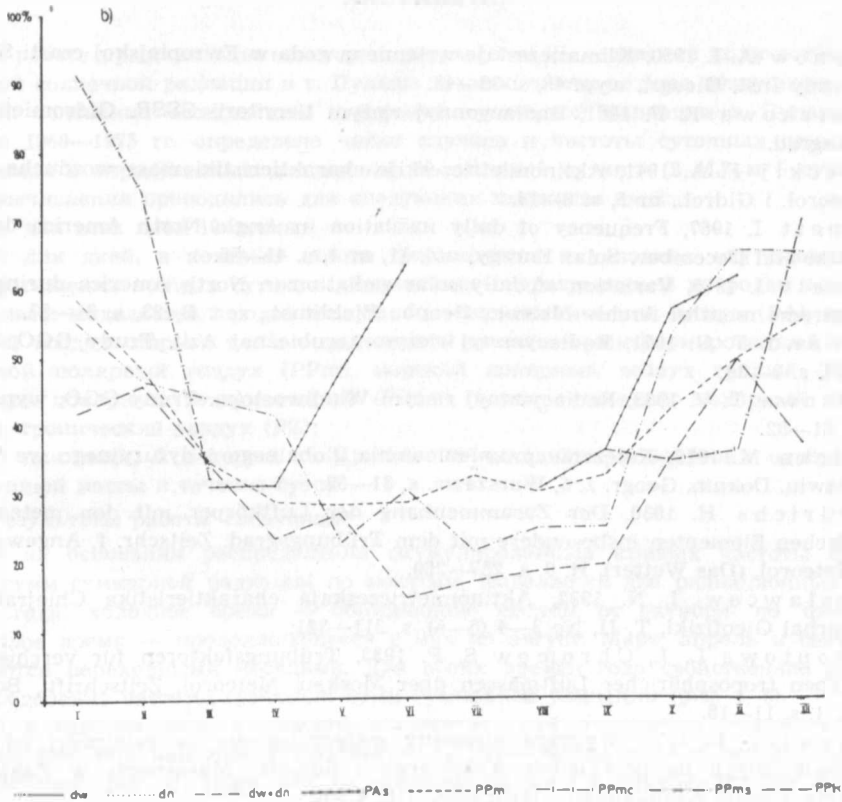
Ryc. 11. Roczny przebieg współczynnika zmienności dziennych sum promieniowania całkowitego w Puławach w latach 1966–1975; a) dla sytuacji niewewnątrzmasowych (dn), dla wszystkich sytuacji wewnątrzmasowych (dw), dla całego badanego dziesięciolecia (dw+dn), b) dla dni z poszczególnymi rodzajami mas powietrznych

masowej w porównaniu z sytuacjami niewewnątrzmasowymi i wszystkimi łącznie.

Warto też zwrócić uwagę na fakt, iż trzy omówione przebiegi charakteryzują się dużą regularnością. W wykresach dla dni z pogodą niewewnątrzmasową i dni z pogodą wewnątrzmasową spotykamy tylko jedno maksimum i jedno minimum. W przebiegu dotyczącym całego badanego dziesięciolecia spotykamy wprawdzie ekstrema drugorzędne, ale są one mało wyraźne na tle cyklu rocznego. Można sądzić, że regularność ta wypływa z dużej liczby dni w powyższych zbiorach.

Podobnie regularny przebieg roczny współczynnika zmienności (też z niewielkim maksimum i minimum wtórnym) dotyczy jednego rodzaju mas powietrznych: PPM. Inne przebiegi są bardziej złożone, zwłaszcza dotyczące mas rzadko występujących w Puławach, tj. PPMc i PAs.

Z masami PPMc związane jest największe zróżnicowanie współczynnika zmienności. Spotykane tu bardzo wysokie wartości współczynnika zmienności świadczą o wyjątkowo niejednorodnym charakterze tego po-



Annual course of variability coefficient of daily global radiation sums in Puławy in the years 1966—1975; a) for the days with the weather not connected with the occurrence of homogeneous air masses (dn), for all days with homogeneous air masses (dw), for all days in the years 1966—1975 (dw+dn), b) for days of each types of air masses

wietrza pod względem jego zdolności transmisyjnej i zdolności rozpraszania promieniowania. Podobny wniosek można wysnuć na podstawie kształtu krzywych dotyczących mas PAs.

Spośród mas powietrznych dość często występujących w Puławach znaczną zmiennością promieniowania, zwłaszcza w chłodnej porze roku, cechują się masy PPm i PPms. Dla masy PPm charakterystyczne jest ponadto najmniejsze zróżnicowanie współczynnika zmienności w przebiegu rocznym. Niewiele większe zróżnicowanie współczynnika zmienności związane jest też z masami PPK, przy czym charakterystyczne są dla tego powietrza nadzwyczaj niskie wartości współczynnika zmienności w miesiącach letnich.

LITERATURA

- Baranow A. I. 1950, Klimaticzeskije wriemiena goda w Ewropejskoj czasti SSSR. Trudy Inst. Geogr., wyp. 48, s. 32—48.
- Baraszkowa E. P. 1961, Radiacyonnyj rieżym tierritorii SSSR. Gidromiet. Leningrad.
- Bieleckij F. A. 1941, Aktinometriczeskije charakteristiki mass wozducha. Mieteorol. i Gidroł., nr 5, s. 8—14.
- Bennett I. 1967, Frequency of daily insolation in Anglo North America during June and December. Solar Energy, vol. 11, nr 1, s. 41—55.
- Bennett I. 1975, Variation of daily solar radiation in North America during the extreme months. Archiv Meteor., Geoph., Bioklimat., ser. B, 23, s. 31—57.
- Bierland T. G. 1971, Radiacyonnyj rieżym zarubieźnoj Azii. Trudy GGO, wyp. 287, s. 3—34.
- Borisowa T. V. 1963, Radiacyonnyj rieżym Władiwostoka. Trudy GGO, wyp. 139, s. 61—92.
- Dubicka M. 1972, Natężenie promieniowania globalnego i dyfuzyjnego we Wrocławiu. Dokum. Geogr. z. 6, Warszawa. s. 81—87.
- Friedrichs H. 1930, Der Zusammenhang der Luftkörper mit den meteorologischen Elementen insbesondere mit dem Trübungsgrad. Zeitschr. f. Angewandte Meteorol. (Das Wetter), H. 9, s. 257—269.
- Jarosławcew I. N. 1932, Aktinometriczeskaja charakteristika Chiejrabada. Żurnał Geofiziki, T. II, No 3—4 (5—6), s. 311—321.
- Mamontowa L. I., Chromow S. P. 1933, Trübungsfaktoren für verchiedene Typen troposphäricher Luftmassen über Moskau. Meteorol. Zeitschrift., Bd. 50, H. 1, s. 11—18.
- Misiewicz Ł. 1975, Wybrane elementy meteorologiczne w zależności od mas powietrznych na przykładzie Kołobrzegu i Suwałk. Maszynopis w Zakładzie Meteorologii, Klimatologii i Hydrologii UŁ, Łódź.
- Niedziałek H. 1981, Całkowite promieniowanie słoneczne a masy powietrzne w Puławach w latach 1966—1975. Przegl. Geofiz., R. XXVI, z. 1—2, s. 85—94.
- Podogrocki J. 1971, Charakterystyka promieniowania całkowitego w Gdyni. Prace PIHM, z. 102, s. 51—59.
- Podogrocki J. 1974, Rozkład czasowo-przestrzenny promieniowania całkowitego w Polsce. Maszynopis w IMGW, Warszawa.
- Podogrocki J. 1977, Zmienność czasowa promieniowania całkowitego w Polsce. Zeszyty Nauk. ART w Olsztynie, Rolnictwo, nr 21, s. 113—125.
- Rafałowski S., Bołaszewska J., Reutt F. 1955, Częstotliwość występowania poszczególnych mas powietrza w Polsce. Wiad. Śl. Hydr. i Met., t. III, z. 5, s. 3—23.
- Torleckaja W. W., But I. W. 1934, Stiepien' prozracznosti razlicznych wozdusznych mass w stieпноj czastii Siewiernogo Kawkaza po dannym Rostowa na Donu. Żurnał Geofiziki, T. IV, No 1/11, s. 56—69.
- Warakomski W. 1969, Zachmurzenie i rodzaj chmur w zależności od mas powietrznych w Polsce. Rozprawa habilitacyjna, UMCS Lublin.

РЕЗЮМЕ

В работе представлены некоторые результаты исследований количества суммарной солнечной радиации в г. Пулавы в зависимости от рода воздушных масс.

На основании ежедневных измерений суммарной радиации в Пулавах во время 1966—1975 гг. определено число случаев и частоты суточных сумм этой величины в определенных диапазонах $50 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$ ($2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$). Эти вычисления проводились для следующих множеств дней:

- а) для всех дней 10-летия;
- в) для дней, в которых погода формируется в условиях внутримассовых на протяжении полных суток, с дальнейшим подразделением по родам воздушных масс: выделяется 7 родов воздушных масс: арктический воздух (РА), арктический воздух старый, т.е. в определенной степени трансформированный (РАs), морской полярный воздух (PPm), морской полярный воздух теплый (PPmc), морской полярный воздух старый (PPms), континентальный полярный воздух (PPk), тропический воздух (PZ);
- с) для дней, в которых г. Пулавы не находился в пределах однородной воздушной массы в течение суток.

Результаты работы следующие:

1) на основании распределения скумулированных кривых частоты суточных сумм суммарной радиации по месяцам, выделяется два радиационные времена года: холодное время — обнимающие месяцы от октября по февраль и теплое время — продолжающееся с мая по август. Март, апрель и сентябрь являются переходными месяцами. Для обоих времен года свойственное разное распределение частоты суточных сумм суммарной радиации (рис. 4, 5).

2) в годовом ходе в каждом множестве дней отмечается положительная асимметрия, она наиболее существенна на протяжении дней с погодой невнутримассовой (рис. 2), тогда как на протяжении дней с внутримассовой погодой (без разделения на роды масс — рис. 3) и дней с массами воздуха РАs, PPm, PPk она слабо выражена (рис. 6, 8, 9), а во дни с массой PPms исчезает (рис. 7),

3) в большинстве месяцев теплого времени года (обычно с мая по сентябрь) во всех множествах дней, кроме дней с погодой невнутримассовой, замечается резкая отрицательная асимметрия (рис. 1, 3, 6—9). В днях с погодой невнутримассовой ход близок к нормальному (рис. 2),

4) в месяцы холодного времени года вообще зарисовывается положительная асимметрия.

SUMMARY

The paper presents some results of studies on the amount of global solar radiation in Puławy in relation to types of air mass.

On the basis of everyday observation on global radiation in Puławy in the period 1966—1975 the number of occurrence and frequency of its daily sums were calculated in the definite intervals each more of $50 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ ($2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$). The calculations were done for the following sets of days:

- a) for all the days of 10 year period;
- b) for the days with homogeneous air masses staying throughout 24 hours: with further division in relation to the types of air mass. The author distinguished 7 types of air masses: arctic air (РА), old arctic air, that is which has been to some

degree transformed (PAs), maritime polar air (PPm), warm maritime polar air (PPmc), old maritime polar air (PPms), continental polar air (PPk) and tropical air (PZ);

c) for the days with the weather not connected with the occurrence of homogeneous air masses throughout 24 hours.

The following conclusions have been reached.

On the basis of curve distribution of cumulated frequencies of daily global radiation sums 2 radiational seasons of the year can be distinguished: the cold season from October to February and the warm season from May to August. March, April and September are transitional months. Both seasons are characterized by different frequency distribution of daily global radiation sums (Fig. 4, 5).

In yearly distribution each group of the days has a positive asymmetry; it is most evident on days with the weather not connected with the occurrence of homogeneous air masses, throughout 24 hours (Fig. 2), while on days with homogeneous air masses (without any division into mass types — Fig. 3) and on days of air masses PAs, PPm, PPk this asymmetry is rather poorly expressed (Fig. 6, 8, 9) and on days of PPms it disappears (Fig. 7).

In most months of warm season (usually from May to September) in all day groups, except for days with the weather not connected with the occurrence of homogeneous air masses throughout 24 hours, the negative asymmetry can be easily noticed (Fig. 1, 3, 6—9). In days with the weather not connected with the occurrence of homogeneous air masses the distribution is nearly normal (Fig. 2).

Months of cold season are generally characterized by positive asymmetry.