

Gabriela Przybylska, Witold Lenart

PRÓBA WYJAŚNIENIA TERYTORIALNYCH RÓŻNIC W ROZWOJU CHMUR *Cumulus* NAD DOLINĄ BIEBRZY TERMICZNYMI WARUNKAMI PRZYGRUNTOWEJ WARSTWY POWIETRZA

Przez wiele lat wzdłuż profilu przecinającego dolinę Biebrzy prowadzono jednocześnie pomiary elementów meteorologicznych [8] oraz fotograficzne badania zachmurzenia metodą All Sky [3, 7]. Rzuciły one nieco światła na mało dotychczas poznany związek warunków meteorologicznych w przygruntowej warstwie powietrza z rozwojem zachmurzenia, głównie konwekcyjnego, na terenach nizinnych.

Sz szczególnie interesujących wyników dostarczyły badania z lipca 1970 roku. Punkty pomiarowe położone na 25-kilometrowym profilu, od wschodniej części Wysoczyzny Kolneńskiej poprzez Bagno Ławki do zachodniego skraju Wyżyny Białostockiej, dobrze charakteryzowały wówczas warunki zarówno na wysoczyznach, jak i w różnych miejscach zabagnionej doliny.

Złożoność związku zachmurzenia konwekcyjnego z termiką przygruntowej warstwy powietrza skłoniła do opracowania materiałów drogą analizy poszczególnych przypadków. Za kryterium wydzielenia poszczególnych przypadków przyjęto kierunek napływu mas powietrza względem osi doliny (N - S) oraz jego prędkość, a w dalszej kolejności analizowano badane związki w okresach powstawania chmur *Cu* i ich zanikania. W tych przypadkach ograniczony jest wpływ zachmurzenia na termikę warstwy przygruntowej. Wyróżnione przykłady (tab. 1) dotyczą tzw. spokojnego rozwoju chmur *Cu* [1] charakterystycznego dla konwekcji wewnątrzmasowej w warunkach podwyższonego ciśnienia. Sytuacje te sprzyjają zarysowaniu się wyraźnych lokalnych różnic zarówno w warunkach meteorologicznych przygruntowej warstwy powietrza, jak i rozwoju chmur *Cu*.

Największy problem stanowił dobór wskaźników nefologicznych i termicznych, takich, które dałyby zadowalającą charakterystykę procesów zachodzących w warstwie przygruntowej i ich odzwierciedlenia w postaci zachmurzenia konwekcyjnego. Istotnym ograniczeniem są metody pomiarowe, które nie pozwalają na bezpośrednią ocenę obszarów z punktu widzenia wyzwania prądów konwekcyjnych. Nie poszukując ewentualnych związków między temperaturą a skłonnością do powstawania tych prądów [2], przyjęto do opracowania nieprzetworzone wyniki pomiarów

Tabela 1

Data	Typ pogody	Okres rozwoju chmur <i>Cu</i>	Termin powstania (zaniku) chmur <i>Cu</i>	Okres uśredniania N_z	Warunki insolacyjne na całym obszarze w okresie poprzedzającym powstanie (zanik) chmur <i>Cu</i>
8 VII 1970	wyżowa, PPms C; $S < 1$ m/s	powstawanie	$8^{03} \div 9^{36}$	$9^{00} \div 10^{00}$	bezhmurnie, zróżnicowanie związane tylko z ekspozycją
6 VII 1970	wyżowa, PPM W $1 \div 2$ m/s		$8^{38} \div 9^{27}$	$9^{00} \div 10^{00}$	
4 VII 1970	wyżowa, PPM SW $2 \div 4$ m/s	zanik	przed 6^{00} do 6^{41}	$6^{30} \div 7^{30}$	zachmurzenie nocne nad wysoczyznami (<i>Sc</i>) do godz. 5, gorsze warunki na Wysoczyźnie Kolneńskiej
			przed 17^{00} do 17^{33}	$17^{00} \div 17^{30}$	niewiele gorsze na Wysoczyźnie Białostockiej

punktowych. Zastosowanie fotograficznej dokumentacji stanu zachmurzenia i odpowiednio opracowanych metod jej interpretacji pozwoliło otrzymać możliwie najwierniejszy, ciągły obraz zmienności czasowo-przestrzennej chmur *Cu*, wykluczając wszelkie niedostatki metody wizualnej. Analizę nefologiczną, dzięki pięciu jednocześnie pracującym lustrom nieba, przeprowadzono dla pasa 7×20 km.

W rezultacie wielu analiz wstępnych przyjęto następujące wskaźniki zachmurzenia:

- termin powstania pierwszej chmury *Cu*;
- uśredniony stopień (0 - 10) pokrycia powierzchni horyzontalnej prostopadłymi rzutami chmur *Cu* (N_z – zachmurzenie Ziemi [4]).

Oba wskaźniki nefologiczne (fig. 1 - 4b) wyznaczono dla pól 2×7 km, przy czym bok dłuższy był równoległy do osi doliny Biebrzy.

Wyjściowym materiałem do oceny warunków termicznych były codzienne pomiary na wszystkich punktach zlokalizowanych wzdłuż profilu. Stały się one podstawą do konstrukcji czasowo-przestrzennych rozkładów (termoizoplety), a następnie chronoizoplety temperatury powietrza (fig. 1 - 4a) ilustrujących zarówno różnice w warunkach cieplnych na omawianym obszarze, jak również intensywność ich zmian. Poprzez zastosowanie tej ostatniej metody uzyskano jednostkę porównywalną z pierwszym z wyżej wymienionych wskaźników nefologicznych oraz okresem uśredniania N_z . Ponadto przeanalizowano zmienność wartości i kierunku pionowego gradientu temperatury powietrza w warstwie $0,25 \div 2,0$ m n.p.g. oraz ogólne warunki meteorologiczne, ze zwróceniem szczególnej uwagi na charakterystyki dynamicznego stanu atmosfery.

Za podstawową zasadę przy określaniu poszukiwanych związków przyjęto zgodność przestrzennych zmian wybranych charakterystyk zachmurzenia konwekcyjnego i termiki przygruntowej warstwy powietrza.

Okres pojawiania się pierwszych chmur *Cu*, a więc zjawiska odzwierciedlającego uprzednie wyzwolenie się prądów konwekcyjnych nad danym obszarem, jest zróżnicowany (tab. 1) i wykazuje zależność od ogólnych warunków meteorologicznych, a przede wszystkim od intensywności turbulencyjnej wymiany (6 i 8 VII a 4 VII 1970). W przy powierzchniowej warstwie powietrza odpowiada on okresowi wyrównania poziomych różnic temperatury nad nadanym obszarem (fig. 1, chronoizopleta 8^h) lub ukształtowania się przestrzennego układu termicznego przeciwnego do typowego dla godzin nocnych (fig. 2, chronoizoplety 8^h i 9^h, fig. 3, chronoizopleta 6^h). Jednocześnie jest to pora doby charakteryzująca się przejściem od stratyfikacji inwersyjnej

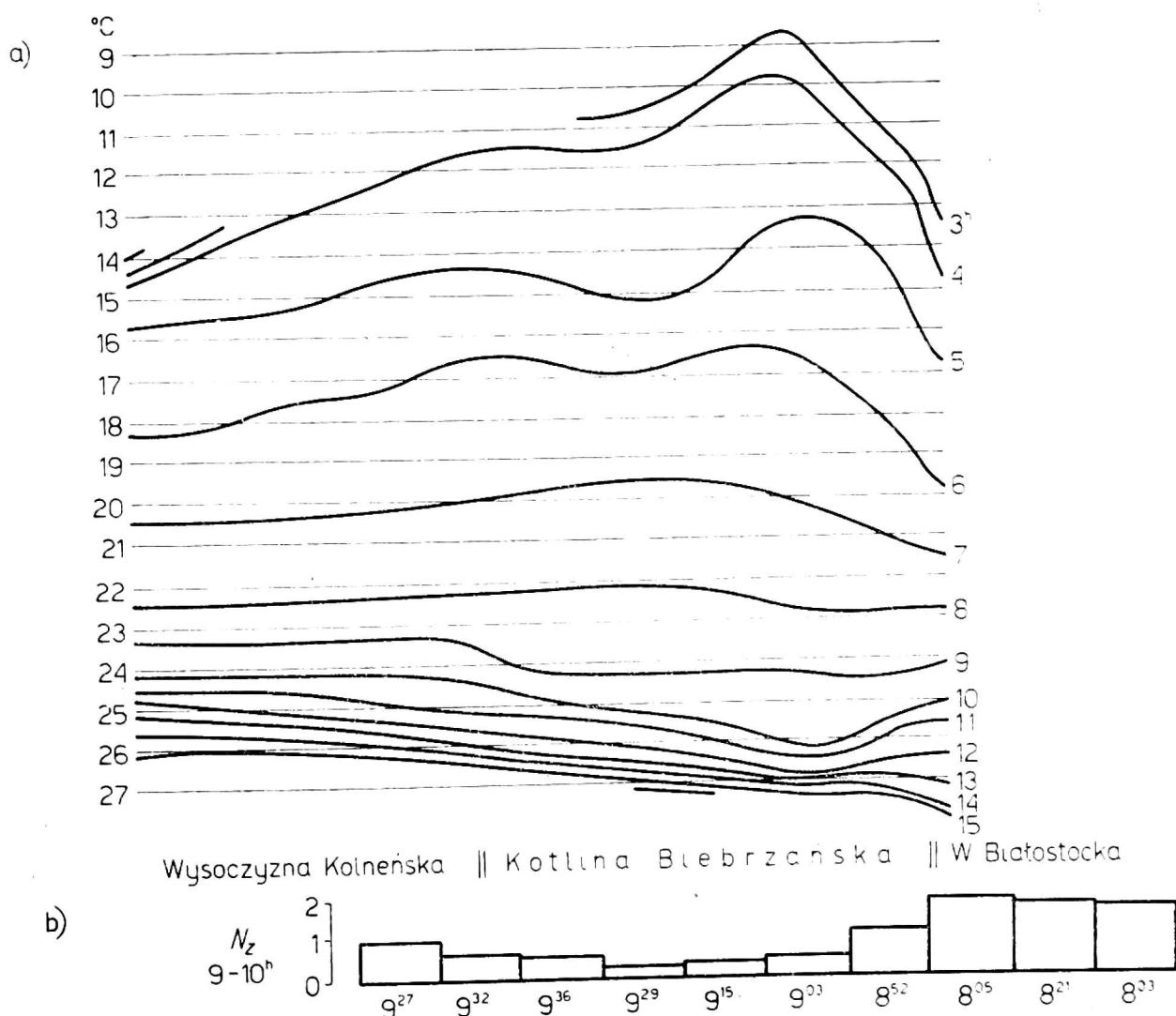


Fig. 1. 8 lipca 1970 roku: a) chronoizoplety temperatury powietrza (1,5 m n.p.g.), b) uśredniony za okres 9 - 10^h stopień zachmurzenia Ziemi (N_z) wyliczony ze zdjęć chmur wykonywanych co 2,5 minuty; poniżej — termin powstania pierwszej chmury *Cu*

July 8, 1970: a) chronoisopleths of air temperature (1,5 m above ground surface), b) degree of Earth cloudiness N_z (mean value for 9 - 10^h), where N_z is calculated from cloud photos taken every 2,5 minutes; marked underneath is the time of formation of the first *Cu* cloud

8 июля 1970 года: а) хроноизоплеты температуры воздуха (высота 1,5 м), б) осредненная для периода времени 9 - 10 ч. степень облачности земли (N_z) подсчитанная со снимков облаков деланных через каждые 2,5 минуты, ниже — срок образования первого облака *Cu*

(warstwa $0,25 \div 2,0$ m) do insolacyjnej i ustalenia się tej ostatniej (pewne odstępstwa od tej reguły wykazuje typowe podłoże bagienne, gdzie w okresie nocy występują dodatnie gradienty pionowe lub stratyfikacja słabo inwersyjna).

Różnice w terminie powstania chmur *Cu* nad poszczególnymi fragmentami obszaru dla wybranych przypadków wahają się od około 40 minut do około 1 godziny i 30 minut (tab. 1, fig. 1 - 3b). Analiza prowadzi do następujących wniosków:

1) długość okresu powstawania chmur *Cu* nad całym obszarem pozostaje w związku z intensywnością turbulencyjnej wymiany; im większa intensywność, tym jest on krótszy, a więc natężenie konwekcji większe. Potwierdzają to różnice w wartościach średniego N_z osiągniętego w określonym czasie od początku rozwoju (por. 6 i 8 VII z 4 VII 1970);

2) wcześniej dochodzi do wyzwolenia prądów konwekcyjnych na obszarach wysoczyzn (opóźnienie jest cechą charakterystyczną doliny). Układ ten, wraz ze zróżnicowaniem średniego stopnia zachmurzenia wzdłuż profilu, nawiązuje do

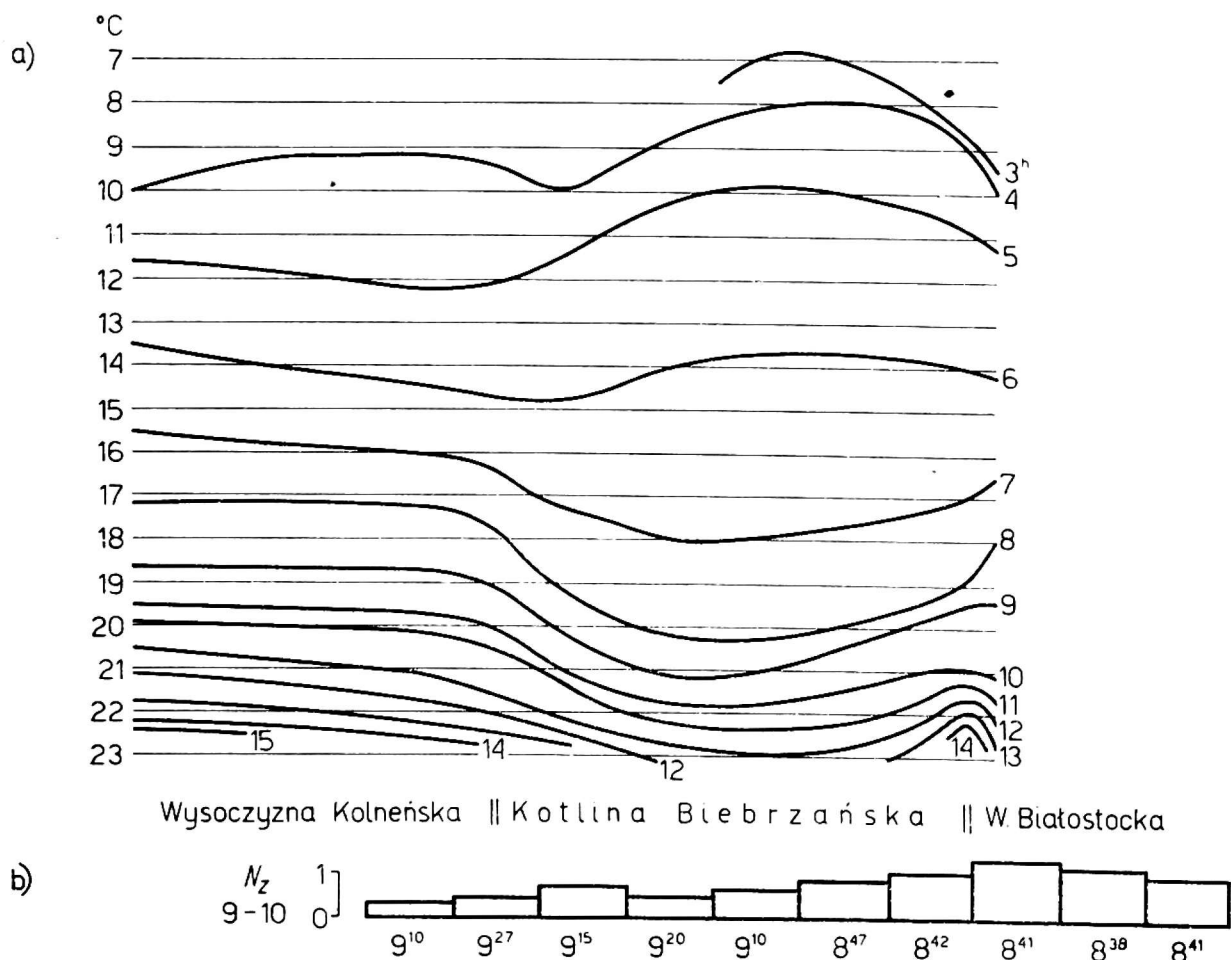


Fig. 2. 6 lipca 1970 roku: a) chronoizoplety temperatury powietrza (1,5 m n.p.g.), b) uśredniony za okres 9 - 10^h stopień zachmurzenia Ziemi (N_z) wyliczony ze zdjęć chmur wykonywanych co 2,5 minuty; poniżej termin powstania pierwszej chmury *Cu*

July 6, 1970: a) chronoisopleths of air temperature (1,5 m above ground surface), b) degree of Earth cloudiness N_z (mean value for 9 - 10^h), where N_z is calculated from cloud photos taken every 2,5 minutes; marked underneath is the time of formation of the first *Cu* cloud

6 июля 1970 года: а) хроноизоплеты температуры воздуха (высота 1,5 м), б) осредненная для периода времени 9 - 10 ч. степень облачности земли (N_z) подсчитанная со снимков облаков деланных через каждые 2,5 минуты, ниже — срок образования первого облака *Cu*

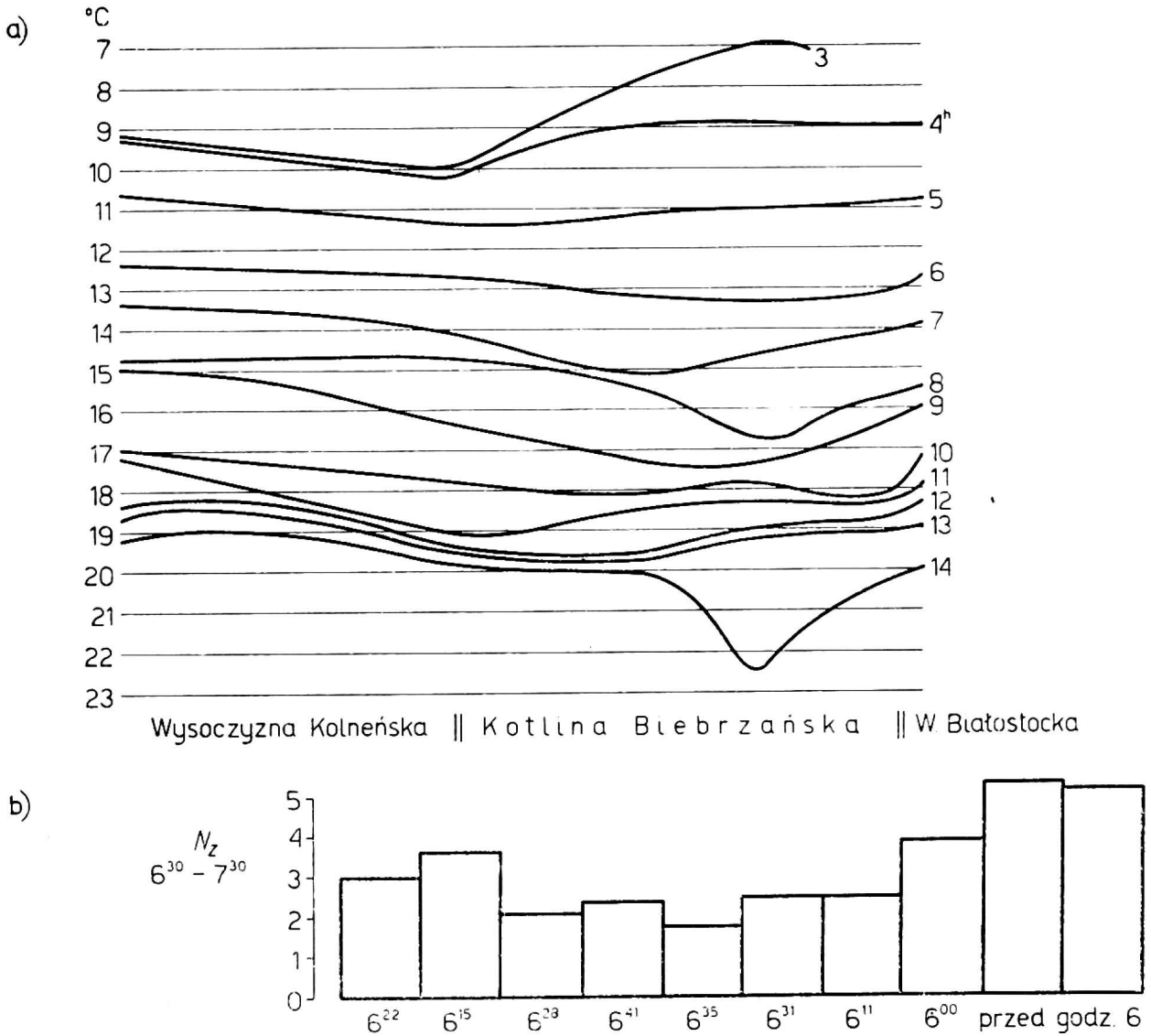


Fig. 3. 4 lipca 1970 roku: a) chronoizoplety temperatury powietrza (1,5 m n.p.g.), b) uśredniony za okres 6³⁰ - 7³⁰ stopień zachmurzenia Ziemi (N_z) wyliczony ze zdjęć chmur wykonywanych do 2,5 minuty; poniżej – termin powstania pierwszej chmury *Cu*

July 4, 1970: a) chronoisopleths of air temperature (1,5 m above ground surface), b) degree of Earth cloudiness N_z (mean value for 6³⁰ - 7^{30h}), where N_z is calculated from cloud photos taken every 2,5 minutes; marked underneath is the time of formation time of the first *Cu* cloud

4 июля 1970 года: а) хроноизоплеты температуры воздуха (высота 1,5 м), б) осредненная для периода времени 6³⁰ - 7^{30ч} ч. степень облачности земли (N_z) подсчитанная со снимков облаков деланных через каждые 2,5 минуты, ниже — срок образования первого облака *Cu*

wzajemnego usytuowania obszarów ciepłych (wysoczyzny) i chłodnego (zabagniona szeroka dolina) w okresie poprzedzającym powstanie chmur *Cu* (fig. 1 - 3a).

Współkształtność przestrzennych zmian omawianych charakterystyk idealny swój wyraz znajduje w warunkach pogody radiacyjnej, bezwietrznej lub o niewielkich prędkościach wiatru, przy jego kierunku wzdłuż doliny (fig. 1). W takich sytuacjach wyraźniej zarysowującym się różnicom lokalnym w przygruntowej warstwie powietrza odpowiadają określone ilościowe i jakościowe różnice w warstwach wyższych, potwierdzając rozpatrywane związki. Przykład z dnia 8 VII 1970 r. (fig. 1) może być ilustracją oddziaływania zróżnicowanego podłoża (rodzaj, rzeźba) na kształtowanie się konwekcji termicznej prowadzącej do powstawania chmur *Cu*. Już zmiana kie-

runku wiatru w stosunku do osi doliny, przy podobnych pozostałych warunkach, powoduje zakłócenia. Przyczyną ich jest zwiększona rola drugiego źródła konwekcji – turbulencji dynamicznej, która nawet przy niewielkich prędkościach wiatru jest wzmożona na skutek większej zmienności szorstkości podłoża wzdłuż kierunku napływu powietrza. Oddziaływanie jej zaznacza się głównie w dowietrznej przykrawędziowej strefie doliny (fig. 2 – krawędź Wysoczyzny Białostockiej). Podobny układ reprezentuje przykład z dnia 4 VII 1970 r. (fig. 3), przy znacznie większej intensywności zjawiska.

Strefy przejściowe: wysoczyzna – dolina, poprzez wywoływane zjawiska dynamiczne, jeszcze bardziej podkreślają odrębność doliny Biebrzy (Bagno Ławki) jako obszaru o zmniejszonej aktywności. Porównanie (fig. 1 - 3b) wykazuje, że ich rola w kształtowaniu zachmurzenia konwekcyjnego nie jest jednakowa i, jak się wydaje, wynika z:

1) różnic warunków termicznych obu wysoczyzn w okresie poprzedzającym powstanie chmur *Cu*;

2) usytuowania w stosunku do przeważającego kierunku wiatru.

Temperatury notowane na zachodnim skraju Wysoczyzny Białostockiej są wyższe niż na Kolneńskiej; wywołują również większe poziome gradienty w jej strefie przykrawędziowej. Stwarza to bardziej sprzyjające warunki do rozwoju konwekcji (fig. 1). Ekspozycja na promieniowanie w tej porze doby stoku Wysoczyzny Kolneńskiej nie zaznacza się tak wyraźnie w termice. Na ten obraz, w sytuacjach atmosfery dynamicznej (fig. 2 i 3), nakładają się efekty procesów uwarunkowanych różnym usytuowaniem krawędzi obu wysoczyzn. Przy napływie masy powietrza z sektora zachodniego, tak jak w omawianych przykładach, przejściu nad obszar chłodniejszy i wilgotniejszy [8] (Wysoczyzna Kolneńska – Bagno Ławki) towarzyszy charakterystyczne „podcięcie” strug konwekcyjnych. W takich przypadkach wpływ przesunięty jest zgodnie z kierunkiem wiatru, co można prześledzić na fig. 2 i 3b. Natomiast we wschodniej strefie obrzeżenia doliny Biebrzy czynnikiem dynamicznym jest wymuszone wznoszenie. Zasilanie powietrza w parę wodną po przejściu nad obszarem zabagnionym jest dodatkowym impulsem do wzrostu zachmurzenia. Ilościowe porównanie efektów tych procesów jest utrudnione ze względu na różnice w termicznym oddziaływaniu oraz terytorialne przesunięcia skutków.

Przy zachodnich kierunkach wiatru strefa krawędzi Wysoczyzny Białostockiej charakteryzuje się wcześniejszym w stosunku do Kolneńskiej pojawieniem chmur *Cu*, intensywniejszym ich rozwojem i większym stopniem zachmurzenia. Różnice te są oczywiście wynikiem zróżnicowanego łącznego termiczno-dynamicznego oddziaływania. Kierunek zmian charakterystyk zachmurzenia na całym profilu (fig. 2 i 3b), wykazując podobieństwo do dnia z konwekcją termiczną (fig. 1), podkreśla decydujący wpływ termiki na jego ukształtowanie. Jednocześnie uzyskano potwierdzenie, że przyjęte charakterystyki termiczne przygruntowej warstwy powietrza są wystarczające do określenia omawianych związków dla okresu powstawania chmur *Cu*.

Obserwacje następowania kolejnych etapów w rozwoju chmur *Cu* sugerują, że

dolina Biebrzy w okresie dopołudniowym i południowym pozostaje nadal obszarem o mniejszej aktywności niż otaczające ją wysoczyzny. W tej porze doby analiza termiki w warstwie do 2,0 m n.p.g. w aspekcie wzajemnych powiązań jest absolutnie niewystarczająca. Pewnym wskaźnikiem mogą być mniejsze pionowe gradienty nad torfowiskami doliny Biebrzy, natomiast wartości temperatur są wyższe niż nad wysoczyznami. Po wystąpieniu temperatury maksymalnej obserwuje się znacznie większą zmienność w czasie. W takich warunkach, ale już przy zmniejszających się różnicach przestrzennych i gradientach pionowych, następuje zanik chmur *Cu* (fig. 4). Różnice w terminach nawiązują do charakteru podłoża i warunków insolacyjnych.

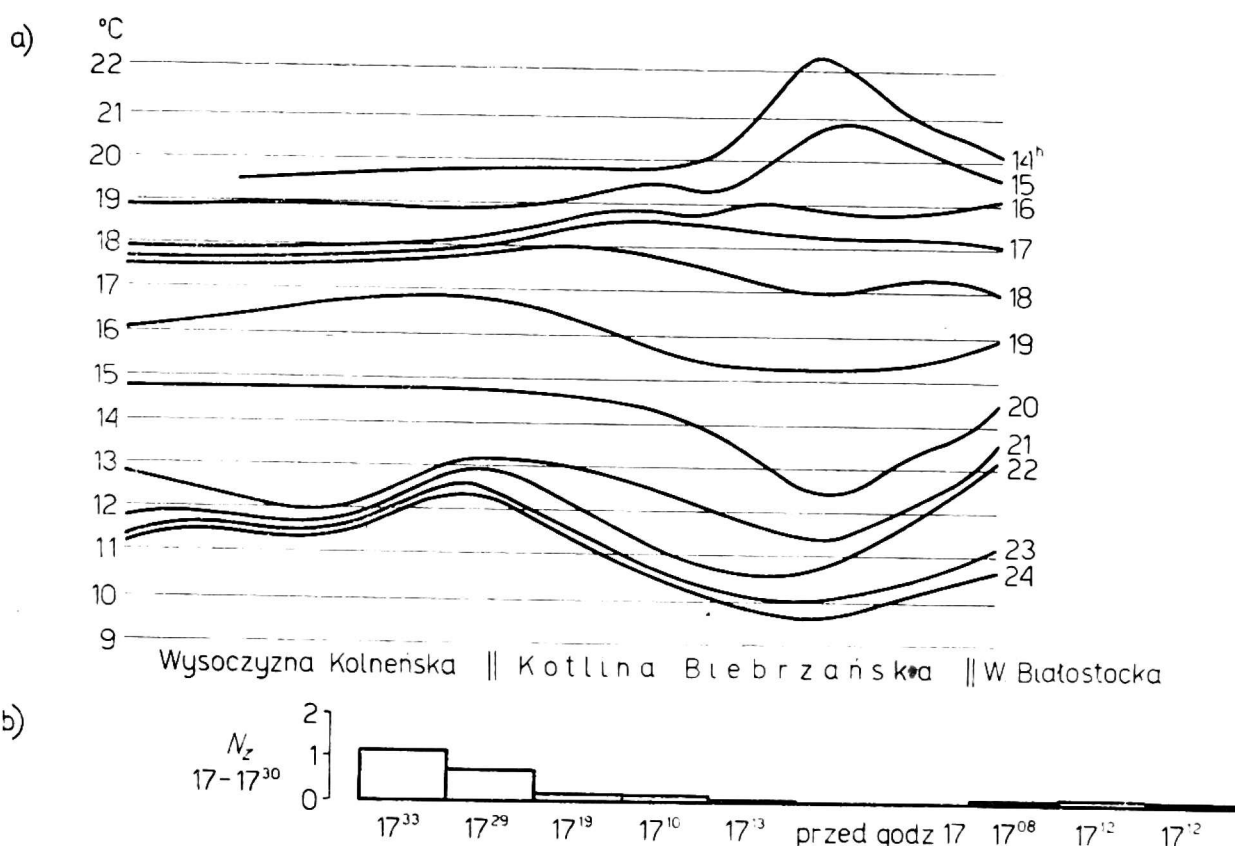


Fig. 4. 4 lipca 1970 roku: a) chronoizoplety temperatury powietrza (1,5 m n.p.g.), b) uśredniony za okres 17 - 17³⁰ stopień zachmurzenia Ziemi (N_z) wyliczony ze zdjęć chmur wykonywanych co 5 minut; poniżej — termin zaniku ostatniej chmury *Cu*

July 4, 1970: a) chronoisopleths of air temperature (1,5 m above ground surface), b) degree of Earth cloudiness N_z (mean value for 17 - 17³⁰h), where N_z is calculated from cloud photos taken, every 5 minutes; marked underneath is the time of waning of last *Cu* cloud

4 июля 1970 года: а) хроноизоплеты температуры воздуха (высота 1,5 м), б) осредненная для периода времени 17 - 17³⁰ ч. степень облачности земли (N_z) подсчитанная со снимков облаков деланных через каждые 5 минут, ниже — срок исчезновения последнего облака *Cu*

Przeprowadzona analiza wykazuje, że zabagniona dolina nizinna poprzez swój charakterystyczny i odmienny od wysoczyzn reżim termiczny bardzo wyraźnie wpływa na kształtowanie się zachmurzenia konwekcyjnego. Charakter tego wpływu uwidoczniiony jest w późniejszym wyzwoleniu prądów konwekcyjnych, mniejszej ich intensywności, osiągnięciu mniejszego stopnia zachmurzenia przez chmury *Cu*.

Ścisłe i jednoznaczne związki z termiką przygruntowej warstwy występują w okresach typowej pogody wyżowej słabogradentowej i w okresach przed i w czasie powstania tego typu zachmurzenia.

Uzyskane wyniki, potwierdzając ogólne prawidłowości oraz sugestie wysunięte w regionalnych opracowaniach zachmurzenia konwekcyjnego [5, 6], w tym również chmur *Cb* i burz [9, 10], mogą stać się przyczynkiem do uściślenia poszukiwanych związków. Istotny wydaje się również ich aspekt poznawczy, dotyczący mało zbadanego regionu. Zasygnalizowanie takich zagadnień jak: modyfikująca rola dynamiki atmosfery i jej zmian wywołanych zmiennością szorstkości podłoża oraz wpływ poprzez zwiększenie zawartości pary wodnej dowodzi konieczności dalszych badań w tym kierunku.

LITERATURA

- [1] *Fizika oblakow*, red. Chrgian A. Ch., Leningrad 1961.
- [2] Kornienko I. A., Kurejko I. A., *Niekotoryje osobiennosti miezostruktury polja prziemnoj tiempieratury i wlaźnosti wozducha i ich wlijanie na konwiektiwnyje processy*, Ukraińskij Nauczno-Issliedowatielskij Gidromietieorologiczeskij Institut, Trudy, wyp. 114, Moskwa 1972.
- [3] Lenart W., *Badanie rozmieszczenia chmur nad niewielkimi obszarami za pomocą łączonych fotografii całego nieba*, „Prace i Studia Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Warszawskiego, Klimatologia” z. 7, Warszawa 1973.
- [4] Okołowicz W., Lenart W., *Ob ocienke koliczestwa oblacznosti po raznym mietodam*, „Időjárás” nr 1 - 2, Budapest 1972.
- [5] Okołowicz W., *Zachmurzenie Polski*, PAN, Instytut Geografii, „Prace Geograficzne” nr 34, Warszawa 1962.
- [6] Okołowicz W., *Zachmurzenie i opad wybranych miesięcy letnich 1962 - 1963 w okolicy Wielkich Jezior Mazurskich*, „Prace i Studia Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Warszawskiego, Katedra Klimatologii” z. 2, Warszawa 1967.
- [7] Okołowicz W., Lenart W., *Metoda zdjęć całego nieba w badaniach zachmurzenia*, „Prace PIHM” z. 100, Warszawa 1970.
- [8] Przybylska G., *Warunki mikroklimatyczne siedlisk torfowych* (maszynopis).
- [9] Stopa M., *Rejony burzowe w Polsce*, „Dokumentacja Geograficzna IG PAN” z. 1, Warszawa 1965.
- [10] Stopa M., *Częstość występowania burz w okolicy Wielkich Jezior Mazurskich*, „Prace i Studia Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Warszawskiego, Katedra Klimatologii” z. 2, Warszawa 1967.

Gabriela Przybylska, Witold Lenart

TENTATIVE EXPLANATION OF TERRITORIAL DIFFERENCES IN DEVELOPMENT OF *Cumulus* CLOUDS ABOVE BIEBRZA VALLEY BY THERMIC CONDITIONS OF NEAR-GROUND AIR LAYER

Summary

The authors performed measurements of meteorological elements parallel with photographing clouds by the All Sky method along a profile across the Biebrza valley. The data obtained from this work supplied some insight into the heretofore little comprehended association between the thermic conditions of the near-ground air layer and the growth of convective cloudiness. The authors analyzed in detail the conditions observed during three days of July 1970, in which the local differences of cloudiness were particularly great. They based their scrutiny upon the following patterns:

- the time of formation of the first (and the disappearance of the last) *Cu* cloud;
- the mean (1 - 10) degree of coverage of the horizontal ground surface with vertical projections of *Cu* clouds (where N_z denotes the cloudiness of the Earth)
- the time-space patterns of air temperature (the so-called chronoisopleths).

The differences between the meteorological conditions observed during the selected days are illustrated in Table 1.

By their investigations the authors determined that by its characteristic thermic regime, markedly differing from upland conditions, a marshy lowland valley affects very distinctly the formation of convective cloudiness. This manifests itself by a belated release of ascending air currents, by their lower intensity, and by their causing a lower degree of cloudiness. Close and unequivocal associations with thermic conditions of the nearground air layer occur in periods of a typical high-pressure weather and in the time before and during the formation of *Cu* clouds (Fig. 1). Higher velocities of air inflow, and flow directions differing from parallel with the valley axis, tend to deform the image by dynamic effects in the marginal zones (Fig. 2, 3). The problem of an interlinkage of clouding with thermic conditions during the day has the effect, that the time of waning of *Cu* clouds precludes in this case arriving at simple conclusions.

Габриєля Прибыльська, Вітольд Ленарт

О ЗАВИСИМОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ В РАЗВИТИИ ОБЛАКОВ *Cumulus* НАД ДОЛИНОЙ РЕКИ БЕБЖИ ОТ ТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА

Краткое изложение

Измерения метеорологических элементов и фотографирование облаков в одно и то же время методом All Sky вдоль профиля пересекающего долину Бебжи, бросили немного света на мало, до настоящего времени, изученную связь между термикой приземного слоя воздуха

и развитием облаков конвекции. обстоятельному анализу подлежали три июльских дня 1970 г., во время которых местные различия облачности были особенно большие. Анализ основан на следующих распределениях:

- сроки образования первого (исчезновение последнего) облака C_u ,
- осредненная степень (0 - 10) покрытия горизонтальной поверхности перпендикулярными проекциями облаков C_u (N_z — облачность Земли),
- временно-пространственные распределения температур воздуха (хроноизоплеты температуры).

Различия между метеорологическими условиями избранных дней представлены в таблице 1.

Из наших исследований вытекает, что заболоченная, низинная долина, своим характерным и отличающимся от повышенных участков территории термическим режимом, очень четко влияет на формирование конвективной облачности. Это видно по более поздним появлениям восходящих течений, меньшей их интенсивности а также меньшей степени облачности. Тесные, однозначные связи с термикой приземного слоя воздуха наблюдается в условиях типичной антициклональной погоды а также до — и во время образования облаков C_u (фиг. 1). Большие скорости притока воздуха и не параллельное его направление по отношению к оси долины искажают картину вследствие динамических эффектов выступающих в присклоновых зонах (фиг. 2 и 3). Петля обратной связи между облачностью и термическими условиями в течение дня является причиной, что так простых выводов не можно сделать для время исчезновения облаков C_u .